

**Efecto del momento e intensidad de poda sobre la demografía
de ramas y floración de retorno del olivo (*Olea europaea* L.
var Arbequina).**

*Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires,
Área Ciencias Agropecuarias*

Valeria Mariel Albarracín

Ingeniera Agrónoma - Universidad Nacional de Catamarca-2008

Lugar de trabajo: CRILAR-Centro Regional de Investigaciones Científicas y
Transferencia Tecnológica de La Rioja



FAUBA

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Directora de tesis

Maria Cecilia Rousseaux

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Consejero de Estudios

Antonio Juan Hall

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

PhD (Biological Sciences), Macquarie University, Australia

JURADO DE TESIS

JURADO

Enrique Eduardo Sánchez

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional del Sur)

PhD (Oregon State University)

JURADO

Maria Elena Fernandez

Licenciada en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Doctora en Biología (Universidad Nacional del Comahue)

JURADO

Luis Gongaga Rallo Romero

Ingeniero Agrónomo (Universidad)

Doctor (Universidad)

Fecha de defensa de la tesis: 20 de DICIEMBRE de 2018

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros) y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Valeria Mariel Albarracín

Publicaciones derivadas de la Tesis

Albarracín V., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2017. Responses of vegetative growth and fruit yield to winter and summer mechanical pruning in olive trees. *Sci. Hortic.* 225: 185-194.

Albarracín V., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2018. Impact of simulated mechanical hedge pruning and wood age on new shoot demography and return flowering in olive trees. *Trees, structure and function*. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1749-1>

Agradecimientos

A mi directora de tesis, la Dra. Ma. Cecilia Rousseaux, por brindarme su tiempo, conocimiento científico, consejos y apoyo incondicional desde el inicio de la beca hasta estos días en la escritura de la tesis. Muchas gracias por todo.

A mi Consejero de Estudios, el Dr. Antonio Hall, por los valiosos aportes brindados durante todo el proceso de ejecución de este proyecto y en mi formación doctoral.

Al Dr. Peter Searles, por participar en la ejecución de este proyecto y discusión de resultados.

A mis compañeros del grupo de Ecofisiología de olivo: Silvana Cherbiy-Hoffmann, Martín Agüero, Georgina García y Daniel Martínez por todas las experiencias compartidas en la etapa de becarios doctorales.

A los Técnicos Eduardo Barbero y Andrés Herrera y al Ing. Diego Castro por colaborar y ayudarme en las mediciones de campo y laboratorio.

A Emilio Caimi de Olivos Argentinos S.A. por cederme los Lotes 4 y 7 su finca para realizar los experimentos a campo. Al Encargado de la finca Walter Méndez y Encargado del riego Néstor Salvatierra por su buena predisposición en todo momento de manera desinteresada.

Al Director de Cultivos Intensivos Industrializables del MINAGRO, Ing. Leonardo Gervasio por autorizarme los días de escritura de tesis y la licencia de estudio.

INDICE GENERAL

Resumen.....	xix
Abstract	xx
Capítulo I.....	22
Introducción General.....	24
1.1. Marco conceptual.....	24
1.1.1. Efecto de la poda mecánica sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento. ...	26
1.1.2. Efecto de la poda sobre la demografía de ramas y su floración de retorno.	29
1.1.3. Efecto de prácticas de post-poda sobre la floración de retorno	30
1.2. Objetivos e hipótesis	33
1.2.1. Objetivo general.	33
1.2.2. Objetivos específicos.....	33
1.3. Estructura de la tesis.....	35
Capítulo II	38
Efecto de la poda mecánica invernal y de verano sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento y sus componentes.	40
2.1. Introducción	40
2.2. Materiales y Métodos.....	42
2.2.1. Sitio experimental y tratamientos de poda	42
2.2.2. Crecimiento del tronco y brotes.	45
2.2.3. Rendimiento y sus componentes	46
2.2.4. Fotosíntesis foliar máxima y conductancia estomática después de la poda invernal	47
2.2.5. Análisis estadísticos de los datos.....	47
2.3. Resultados	48
2.3.1. Biomasa removida por los tratamientos de poda.....	48
2.3.2. Crecimiento de tronco y brotes	48
2.3.3. Rendimiento y sus componentes	50
2.3.4. Relaciones entre el área foliar removida por poda y el posterior crecimiento de las ramas y rendimiento.....	53
2.3.5. Análisis por Componentes Principales	53

2.3.6. Efecto de la poda de invierno sobre la masa foliar específica y el intercambio gaseoso.	56
2.4. Discusión.....	56
2.5. Conclusiones	59
Capítulo III.....	62
Impacto de la poda mecánica sobre la demografía de nuevas ramas y la floración de retorno en árboles de olivo.....	64
3.1. Introducción	64
3.2. Materiales y Métodos.....	66
3.2.1. Sitio experimental y tratamientos de poda mecánica	66
3.2.2. Clasificación de las ramas podadas y crecimiento de las nuevas ramas	67
3.2.3. Demografía de ramas nuevas y floración de retorno.....	68
3.2.3. Análisis de los datos.	70
3.3. Resultados	70
3.3.1. Clasificación de ramas podadas por edad de madera.	71
3.3.2. Porcentajes de nuevas ramas, número y longitud.....	71
3.3.2.1. Efecto de la Intensidad y momento de poda.	71
3.3.2.2. Efecto de la edad de madera de BB.	74
3.3.2.3 Análisis por componentes principales (PC).....	76
3.3.3. Floración de retorno de las nuevas ramas	80
3.4. Discusión.....	81
3.5. Conclusiones	83
Capítulo IV.....	86
Efecto de prácticas post-poda y la aplicación de Cloruro de Mepiquat sobre el crecimiento vegetativo, floración de retorno y rendimiento en árboles de olivo.....	88
4.1. Introducción	88
4.2. Materiales y Métodos.....	90
4.2.1. Experimento de prácticas post-poda.....	90
4.2.2. Porcentajes de ramas nuevas, número, longitud y floración de retorno.....	91
4.2.3. Rendimiento y sus componentes.	92
4.2.4. Experimento de evaluación de dosis de Cloruro de Mepiquat	92
4.2.5. Análisis estadísticos de los datos.....	93
4.3. Resultados	94
4.3.1. Experimento de prácticas de post-poda.....	94

4.3.1.1. Porcentajes de ramas nuevas, número, longitud.	94
4.3.1.2. Floración de retorno de las nuevas ramas post-poda	96
4.3.1.3. Rendimiento y sus componentes.	97
4.3.2. Experimento de evaluación de dosis de Cloruro de Mepiquat.	99
4.4. Discusión.....	101
4.5. Conclusión	104
Capítulo V	107
Discusión General	109
5.1. Aspectos destacados de los resultados obtenidos en los experimentos realizados.	109
5.2. Validación de hipótesis formuladas al comienzo del proyecto.	113
5.3. Relevancia de los hallazgos de esta investigación para el estado actual del conocimiento y consideraciones acerca de posibles aplicaciones de los mismos.....	119
5.4. Conclusiones finales.....	121
Referencias Bibliográficas	123

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1: Análisis de medidas repetidas en el tiempo de los efectos de los tratamientos de poda (intensidad y momento) sobre el rendimiento y sus componentes medidos en el Año 1, 2 y 3. Los promedios trianuales de rendimiento y sus componentes se muestran \pm un error estándar para cada tratamiento de poda y el control. El promedio para cada año \pm un error estándar se muestra debajo. Diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de poda o el año.....	51
Cuadro 2.2: Regresiones lineales ajustadas entre las variables de crecimiento vegetativo, rendimiento y sus componentes y área foliar removida (AFR, m ²) durante el Año 1. Las regresiones de crecimiento vegetativo no incluyen los datos de poda de verano (75S), mientras que las regresiones de rendimiento y sus componentes incluyen todos los tratamientos de poda. Todos los coeficientes de regresión son significativas ($p < 0.05$).....	53
Cuadro 2.3. Coeficientes de correlación de los componentes principales (CP1 y CP2) para las diferentes variables de crecimiento vegetativo y rendimiento. Los coeficientes de correlación en negrita ($>$ al 60 % en valor absoluto) se consideraron en la interpretación de los componentes principales.....	54
Cuadro 2.4: Masa foliar específica (SLM), fotosíntesis neta (A), transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua (WUE) medidos un mes después de la poda de invierno en el Año 1. Cada valor representa el promedio \pm un error estándar ($n=4$ árboles por tratamiento). Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre los tratamientos (letras minúsculas para $p < 0.05$, letras mayúsculas para $p < 0.1$).....	56
Cuadro 3.1. Número total de ramas o brotes eliminados según su edad de madera en invierno (25W, 50W y 75W) y verano (75S). Los valores en cada celda son medias de 6 árboles \pm un error estándar. Letras diferentes en mayúscula en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de poda para cada categoría de edad de madera. Letras minúsculas diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas entre edades de madera dentro de cada tratamiento.....	71
Cuadro 3.2. Asociaciones entre los dos primeros componentes principales (PC1, PC2) con las variables de respuesta de demografía de brotes considerados en el análisis de PC para cada uno de los Años 1 y 2. Se consideraron los coeficientes de correlación en negrita (> 0.60) en la interpretación del componente principal.....	76
Cuadro 4.1: Volumen del árbol medido en el Año 1 y Año 2, y el cambio en el volumen del árbol entre años. El tratamiento fue: control sin podar (C), control de poda de invierno (PC), poda de invierno + despunte de verano (PH), poda de invierno + raleo de chupones en verano (PT) y poda de invierno + aplicación de cloruro de mepiquat en verano (PCM). El diseño fue un bloque completo al azar ($n=4$). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) dentro de cada año.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Evapotranspiración de referencia (ET_o) y radiación solar (a), temperatura máxima (T_{max}) y mínima (T_{min}), y precipitaciones (b) durante el experimento (agosto 2009-mayo 2012). Los valores de ET_o, radiación solar y temperatura son valores diarios promedio para cada mes, mientras que los valores de precipitaciones son totales mensuales (mm mes⁻¹). Las flechas indican las fechas de poda invernal (W) y de verano (S), floración (F), endurecimiento del hueso (PH) y cosecha (H) para cada año.....43

Figura 2.2: Peso seco de las ramas, hojas y frutos eliminados por los tratamientos de poda de invierno (25W, 50W y 75W) y de verano (75S). Los números 25, 50 y 75 en las abreviaturas de tratamiento indican el ancho (cm) eliminada mediante la poda de la superficie exterior de la cubierta. Los frutos sólo estaban presentes en el material podado de verano. Cada barra representa el promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) para la suma de ramas + hojas.....48

Figura 2.3: Patrones estacionales del incremento del área seccional-transversal del tronco (TCSA) en el Año 1 (a) y el Año 2 cuando no hubo poda (b). Los tratamientos de poda fueron CON (●), 25W (■), 50W (▲), 75W (▼) y 75S (◆). Las flechas indican las fechas de poda de invierno (W), poda de verano (S), del endurecimiento del hueso (PH) y de la cosecha (H). Cada punto representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras por encima de los puntos para cada fecha de medición indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).....49

Figura 2.4: Número total de ramas nuevas (a y b), longitud total de ramas nuevas (c y d), y número total de hojas nuevas originados por rama base (BB; e y f) generadas en el Año 1 (paneles de la izquierda) y el Año 2 cuando no hubo poda (paneles de la derecha). Los tratamientos fueron CON (●), 25W (■), 50W (▲), 75W (▼) y 75S (◆). Las flechas indican el momento de cosecha (H). Cada punto representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras por encima de los puntos para cada fecha de medición indican diferencias significativas entre tratamientos (letras minúsculas para $p < 0.05$, letras mayúsculas para $p < 0.1$).....50

Figura 2.5: Rendimiento de fruta fresca (a), rendimiento de aceite (b), número de frutos (c), peso seco de fruto (d), y contenido de aceite por fruto (e) medidos en el Año 1 cuando se realizaron podas de invierno (W) y de verano (S) y los Años 2 y 3 cuando no se aplicó poda. Cada barra representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las diferentes letras situadas por encima de las barras indican diferencias significativas entre los tratamientos en un año dado y entre los años ($p < 0.05$).....52

Figura 2.6. Biplot del análisis de componentes principales de los efectos de los tratamientos de poda y año para los Años 1 y 2 (Año 1=año on y Año 2= año off). El análisis no incluyó datos del Año 3 porque el crecimiento vegetativo se midió sólo en los años 1 y 2. Cada punto representa el promedio de una combinación de tratamiento de poda y año ($n = 6$ árboles por tratamiento). Los códigos para las combinaciones de tratamiento de poda y año se muestran en el cuadrante inferior izquierdo. Las flechas

indican las trayectorias entre años en el espacio biplot para cada tratamiento de poda.....55

Figura 3.1. Tipos de brotes nuevos originados sobre ramas bases (BB) después de la poda de invierno o de verano. Las letras indican: MS: Rama principal (ramas primarias, secundarias o terciarias que sostienen las BB); BB: Ramas bases (estructura subyacente de soporte leñosa justo debajo del punto de poda) de 0 a 4 años de edad de madera; CP: punto de corte de la poda; S: brote de bajo vigor nuevo originado sobre la BB. LS: lat-brote sobre el brote nuevo; LLS: lat-brote originado sobre un lat-brote. W: chupón nuevo; LW: lat -chupón originado sobre el W nuevo y LLW: lat-chupón originado sobre el lat-chupón. Los brotes son ramas con crecimiento horizontal, entrenudos cortos con 2 hojas por nudo y los chupones son ramas vigorosas con crecimiento vertical, entrenudos largos con 3 a 4 hojas redondeadas por nudo.....69

Figura 3.2. Porcentaje de ramas de base (% BB) con nuevos brotes (a, b); Número de nuevos brotes por BB (c, d) y longitud media de brotes por BB (e, f) para cada tipo de brote y tratamiento de poda en una estación de crecimiento determinada (ver códigos de tratamiento en la parte superior derecha). Los datos se representan por separado para el crecimiento en el Año 1 (paneles de la izquierda, a, c, e) y en el Año 2 (paneles de la derecha, b, d, f). El término “nuevas ramas o brotes” se refiere a las ramas o brotes que se formaron en una temporada de crecimiento dada (i.e., Año 1 o Año 2) y no acumuladas durante las estaciones. La longitud de la rama o brote también se refiere al crecimiento que ocurre en una estación determinada. El nuevo crecimiento se clasificó en cuatro grupos: brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones. Hubo un control (CON) y tres tratamientos de poda de invierno (25W, 50W y 75W) y un tratamiento de poda de verano (75S). Cada barra representa la media \pm error estándar ($n = 6$ árboles). Cada árbol (unidad experimental) tenía 12 BB. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro del tipo de brote.....73

Figura 3.3. Porcentaje de ramas de base (% BB) con nuevos brotes (a, b); número de nuevos brotes por BB (c, d) y longitud media de brotes por BB (e, f) para cada tipo de brotes y edad de madera de BB en una estación de crecimiento determinada (ver códigos de edades en la parte superior derecha). Los datos se representan por separado para el crecimiento en el Año 1 (paneles de la izquierda, a, c, e) y en el Año 2 (paneles de la derecha, b, d, f). El término “nuevas ramas o brotes” se refiere a las ramas o brotes que se formaron en una temporada de crecimiento dada (i.e., Año 1 o Año 2) y no acumuladas durante las estaciones. La longitud de la rama o brote también se refiere al crecimiento que ocurre en una estación determinada. El nuevo crecimiento se clasificó en cuatro grupos: brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones. En el análisis se incluyeron edades de madera en el momento de la poda de 0 (i.e., estación actual), 1, 2, 3 y 4. Cada barra representa la media \pm error estándar para cada edad de BB y tipo de brote. El total de BB analizadas fue 360 (12 BB por árbol x 30 árboles). Para las BB de 0, 1, 2, 3 y 4 años los tamaño de muestra (n) fueron 68, 59, 128, 84 y 21. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las edades de BB dentro del tipo de brote.....75

Figura 3.4. Posiciones de los vectores (flechas gruesas) de las variable respuesta en el biplot para el análisis de PC realizado en los datos especificados en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama para el Año 1. Los puntos de datos indican las posiciones en el

espacio biplot de las combinaciones del tratamiento de poda y edad de madera. Las flechas finas (líneas, puntos, puntos de rayas) indican las trayectorias, a través de las edades de la madera, para cada tratamiento de poda. Las posiciones de los puntos para las combinaciones de tratamiento de poda/edad de madera que no se pueden visualizar en el diagrama se indican mediante flechas finas vinculadas a las cajas que contienen la etiqueta de combinación.....78

Figura 3.5. Posiciones de los vectores (flechas gruesas) de las variable respuesta en el biplot para el análisis de PC realizado en los datos especificados en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama para el Año 2. Los puntos de datos indican las posiciones en el espacio biplot de las combinaciones del tratamiento de poda y edad de madera. Las flechas finas (líneas, puntos, puntos de rayas) indican las trayectorias, a través de las edades de la madera, para cada tratamiento de poda. Las posiciones de los puntos para las combinaciones de tratamiento de poda/edad de madera que no se pueden visualizar en el diagrama se indican mediante flechas finas vinculadas a las cajas que contienen la etiqueta de combinación.....79

Figura 3.6. Porcentaje de BB que mostraron brotes reproductivos (brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones). Los datos se representan para el Año 2 (a), Año 3 (b) y Año 4 (c). Cada barra representa el promedio ($n = 6$ árboles) \pm error estándar por tratamiento. Cada árbol tenía 12 BB. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro de cada categoría de rama analizada usando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.....80

Figura 4.1. Porcentaje de ramas bases (BB) con nuevos brotes, chupones, lat-brotes, y lat-chupones (a), número de brotes de cada categoría por BB (b), y longitud media de las brotes de cada categoría por BB (c), medidos entre el 13-15 de septiembre de 2012. Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento del endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de poda mecánica). Los tratamientos fueron PC (poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat) y un control sin poda (C). Las variables de respuesta fueron medidas sobre 12 BB por árbol (6 en cada lado podado, marcados post-poda). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tipo de ramificación ($p < 0.05$).....95

Figura 4.2. Porcentaje de BB con al menos una inflorescencia (a) y número de inflorescencias por BB (b) generados en los brotes, chupones, lat-brotes, y lat-chupones, crecidos en el punto de poda después de la poda mecánica de invierno, medidos entre 13-15 de septiembre de 2012. Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento del endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de poda mecánica). Los tratamientos fueron PC (poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), PCM (aplicación de cloruro de mepiquat) y un control sin poda (C). Las variables de respuesta fueron medidas sobre 12 BB por árbol (6 en cada lado podado, marcados post-poda). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tipo de ramificación ($p < 0.05$). Los datos se analizaron con el test de Kruskal Wallis.....97

Figura 4.3. Rendimiento de frutos por árbol (kg árbol^{-1}) (a), número de frutos por árbol ($\# \text{ árbol}^{-1}$) (b), rendimiento de frutos por unidad de volumen de la copa (kg m^{-3}) (c) y número de frutos por unidad de volumen de la copa ($\# \text{ m}^{-3}$) (d) medidos en el Año 1 (abril de 2012, año de poda y de tratamientos post-poda), y 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento de endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de la poda mecánica). Los tratamientos fueron: C (control sin poda), PC (control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).....98

Figura 4.4. Peso seco del fruto medido en el Año 1 (abril de 2012, año de poda y de tratamientos de post-poda), y Año 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento de endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de la poda mecánica). Los tratamientos fueron: C (control sin poda), PC (poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).....99

Figura 4.5. Elongación media de brotes (a), incremento del número de nudos (b) e incrementos en el número de hojas (c) por brote para diferentes dosis de CM y formas de aplicación. Los incrementos se calcularon como la diferencia entre las mediciones de crecimiento de enero y septiembre de 2012. Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMSuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM se realizó en diciembre de 2011. Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).....100

Figura 4.6. Porcentaje de brotes reproductivos (a) y número de inflorescencias por brote (b) para las diferentes dosis de Cloruro de Mepiquat (CM) y formas de aplicación. Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMSuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM fue realizada en diciembre de 2011 y los brotes reproductivos se midieron en septiembre de 2012. El % de brotes reproductivos se calculó sobre los 8 brotes vegetativos seleccionados por árbol (dos por orientación). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).....100

Figura 4.7. Rendimiento de frutos por árbol (kg árbol^{-1}) (a), número de frutos por árbol ($\# \text{ árbol}^{-1}$) (b), rendimiento de frutos por unidad de volumen de copa (kg m^{-3}) (c) y número de frutos por unidad de volumen de copa ($\# \text{ m}^{-3}$) (d) medidos en el Año 1 (año de poda y tratamientos de post-poda, abril de 2012), y Año 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMSuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM fue realizada en diciembre de 2011. Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican

diferencias significativas entre tratamientos para cada año de medición ($p < 0.05$).....	101
--	-----

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.1. Podadora mecánica de discos eliminando los laterales del seto de olivos.....	26
Imagen 2.1: Arreglo de las plantas en la finca. En (a) se observa la distancia libre entre filas y en (b) se muestra el tamaño promedio de las plantas seleccionadas para el experimento.....	42
Imagen 2.2: Forma y ancho inicial del árbol (a) y el ancho luego de aplicada la poda mecánica 75W en los laterales este y oeste (b).....	45
Imagen 2.3: Puntos de cortes que definen las BB (Base branch, flechas negras) sobre los cuales se cuantificó el número, longitud y número de hojas de las ramas nuevas (flechas rojas) generados luego de la poda mecánica.....	46
Imagen 3.1: En (a) se muestra el canopeo antes de imitar la remoción por podadora mecánica y en (b) la cuantificación demográfica de las ramas eliminadas de la poda clasificadas por edad y tipo de rama.....	68

ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

árbol⁻¹: número de frutos por árbol.

m⁻³: número de frutos por unidad de volumen de copa.

25W: El número 25 indica el ancho (cm) de copa eliminado mediante la poda desde la superficie exterior de la cubierta hacia el centro del árbol y W indica poda de invierno.

50W: El número 50 indica el ancho (cm) de copa eliminado mediante la poda desde la superficie exterior de la cubierta hacia el centro del árbol y W indica poda de invierno.

75W: El número 75 indica el ancho (cm) de copa eliminado mediante la poda desde la superficie exterior de la cubierta hacia el centro del árbol y W indica poda de invierno. **75S**: El número 75 indica el ancho (cm) de copa eliminado mediante la poda desde la superficie exterior de la cubierta hacia el centro del árbol y W indica poda de invierno.

A: tasa de fotosíntesis neta.

Años off: años en los cuales los árboles presentan escasa o nula carga de frutos.

Años on: años en los cuales los árboles presentan alta carga de frutos.

AFR: Área foliar removida.

BB: Base branch o ramas base es la estructura leñosa subyacente de soporte justo debajo del punto de corte de poda.

C: Tratamiento de control sin poda.

CM: Cloruro de Mepiquat

CM0: Tratamiento de aplicación foliar de Cloruro de Mepiquat control.

CM1000: Tratamiento de aplicación foliar de Cloruro de Mepiquat de 1000 ppm.

CM2000: Tratamiento de aplicación foliar de Cloruro de Mepiquat de 2000 ppm.

CM3000: Tratamiento de aplicación foliar de Cloruro de Mepiquat de 3000 ppm.

CMsuelo: Tratamiento de aplicación en el suelo de Cloruro de Mepiquat.

CON: Tratamiento de control sin poda.

CP: Componente principal.

DEMOGRAFÍA: Se entiende por demografía al estudio de la frecuencia de tipos (e.g., ramas vegetativas, reproductivas, chupones) y edad de ramas y la modificación de su distribución en respuesta a modificaciones en el ambiente o manejo.

ETo: Evapotranspiración de referencia.

F: indica la fecha de floración de los olivos.

gs: conductancia estomática.

H: del inglés “harvest” indica el momento de cosecha de los frutos.

IOC: International Olive Council.

kg árbol⁻¹: Rendimiento de frutos por árbol.

kg m⁻³: rendimiento de frutos por unidad de volumen de copa.

lat-brotes: brotes laterales originados sobre los brotes.

lat-chupones: chupones laterales originados sobre los chupones.

LS: lat-brote originado sobre un brote.

LLS: lat-brote originado sobre un lat-brote.

LW: lat-chupón originado sobre un chupón.

LLW: lat-chupón originado sobre un lat-chupón.

PAR: Radiación fotosintéticamente activa.

PC: Tratamiento de poda invernal severa de control.

PCM: Tratamiento de poda invernal severa más la aplicación de cloruro de mepiquat.

PH: Tratamiento de poda invernal severa más despunte del nuevo crecimiento.

PH: del inglés “pit hardening”, indica el momento de endurecimiento del hueso.

PM: Poda mecánica.

PT: Tratamiento de poda invernal severa más raleo de chupones.

R/RL: Relación rojo/rojo lejano.

S: Indica que la poda se realizó durante el verano.

s: del inglés “shoot” indica brote originado sobre la BB.

SAGyP: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

SLM: masa foliar específica.

TCR: tasa de crecimiento relativo.

Tmax: Temperatura máxima.

Tmin: Temperatura mínima.

W: Indica que la poda se realizó durante el invierno.

w: del inglés “watersprouts” indica los chupones originados sobre las BB.

Resumen

Efecto del momento e intensidad de poda sobre la demografía de ramas y floración de retorno del olivo (*Olea europaea* L. var Arbequina).

La expansión del cultivo del olivo hacia ambientes cálidos diferentes a aquellos del Mediterráneo de donde es originario, llevó a la necesidad de adaptar el manejo del cultivo según las condiciones impuestas por el ambiente. A ello se suma, la reciente adopción de la poda mecanizada en la cual se realiza un corte no selectivo de ramas, agregó incógnitas sobre la identidad de las mejores prácticas de manejo del cultivo. El objetivo de esta tesis fue evaluar la influencia del momento e intensidad de poda mecánica (PM) sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y la demografía de ramas nuevas en árboles de olivo en plantaciones de La Rioja. Tres experimentos de PM simuladas fueron realizados en años *on* (i.e. árboles con alta carga de frutos). En el primero se aplicaron tres intensidades de PM invernal (ligera, moderada y severa) y una severa de verano. El crecimiento vegetativo y la demografía de ramas nuevas se midieron sobre 12 ramas base (BB) o puntos de corte por árbol. El crecimiento vegetativo aumentó lineal y positivamente con el aumento del área foliar removida en las podas de invierno. La PM severa de verano produjo menor crecimiento vegetativo en el año de la poda, llevándolo a valores similares al control. El rendimiento promedio trianual post-poda no fue modificado por las intensidades de PM invernal pero la fluctuación interanual sí fue variable entre tratamientos. La PM de verano redujo el rendimiento promedio trianual un 25% con respecto al resto de los tratamientos. En relación a la demografía de ramas nuevas, la PM de invierno mostró mayor frecuencia y longitud de ramas vigorosas (chupones y chupones laterales) por BB. La PM de verano se asoció más con ramas no vigorosas (brotes y brotes laterales) que con chupones. Por otro lado, la floración de retorno de las ramas no vigorosas y vigorosas fue alta al tercer año post-poda, moderada en el segundo y escasa/nula al año siguiente de la poda. El segundo experimento involucró la aplicación de tres prácticas post-poda: a) raleo del 50% de chupones nuevos por punto de corte, b) despunte de ramas nuevas y c) aplicación de 1500 ppm de cloruro de Mepiquat (CM, una anti-giberelina) en árboles con PM severa de invierno. El raleo de chupones demostró ser la mejor estrategia en promover la floración y rendimiento al año siguiente, pero es de limitada aplicabilidad comercial. En contraste, el despunte de las ramas nuevas (remoción del apice+1° par de nudos) fue el peor tratamiento de post-poda por promover las ramificaciones laterales de brotes y chupones que no florecieron en la siguiente temporada. Por último, la aplicación de CM no mostró una tendencia diferencial en promover la floración de retorno y rendimiento, probablemente porque la dosis empleada fue baja. El tercer experimento involucró la aplicación foliar de dosis crecientes (0-3000 ppm) de CM sobre árboles con alta carga de frutos (año “*on*”) sin poda, y puso en evidencia que dosis de 2000-3000 ppm incrementan la floración de retorno y el rendimiento en la siguiente campaña, reduciendo la alternancia productiva. Los resultados presentados incluyen: a) la primera cuantificación del crecimiento vegetativo post-poda durante dos estaciones y del rendimiento y sus componentes durante tres estaciones de crecimiento; b) la primera descripción demográfica de las respuestas a la poda símil-mecánica de ramas vigorosas y no vigorosas y su transición hacia la generación de yemas floríferas sobre tres floraciones subsecuentes a la poda; c) la primera exploración de respuestas a sistemas de manejo de post-poda en olivo; y d) respuestas muy alentadoras del rendimiento y la floración de retorno a la aplicación de CM.

Palabras claves: Poda mecánica, Crecimiento vegetativo, Rendimiento, Alternancia productiva, Demografía de ramas, Floraciones de retorno, Tratamientos post-poda, Cloruro de Mepiquat, Fotosíntesis, Conductancia estomática.

Abstract

Effect of timing and intensity of pruning on branch demography and return flowering in olive (*Olea europaea* L. var *Arbequina*).

The expansion of olive cultivation to warm environments that are different from those of the Mediterranean Basin has required a careful evaluation of crop management in many new growing regions. In addition, the recent adoption of mechanized pruning, characterized by non-selective cutting of branches, has added further uncertainties. The objective of this thesis was to evaluate the influence of the timing and intensity of mechanical pruning (MP) on the vegetative growth, yield, and the demography of new branches in olive trees in plantations of La Rioja. Three experiments were performed in an “on” year (i.e. trees with high fruit load). In the first, one, three intensities of winter MP (light, moderate and severe) and a single severe summer one were applied. Vegetative growth and demography of new branches were measured on 12 base branches (BB) or cutting points per tree. Vegetative growth increased linearly and positively with the increase of the leaf area removed in the winter pruning. The severe summer MP produced lower vegetative growth in the pruning year, leading to values similar to control. The average cumulative triennial post-pruning yield was not modified by the winter MP intensities, but the interannual fluctuation did vary between treatments. The summer MP reduced the average cumulative triennial yield by 25% compared to the rest of the treatments. From the viewpoint of the demography of new branches, the winter MP evoked a greater frequency and length of vigorous branches (watersprouts and lateral watersprouts) per BB. Summer MP was associated more with non-vigorous branches (shoots and lateral shoots) than with watersprouts. On the other hand, the return flowering of the new non-vigorous and vigorous branches was high in the third post-pruning year, moderate in the second and scarce/null in the year following pruning. The second experiment involved the application of three post-pruning practices to trees subjected to severe winter MP: a) 50% thinning of new watersprouts per BB, b) tip-heading of new branches, and c) application of 1500 ppm Mepiquat Chloride (CM, an anti-gibberellin). The thinning of watersprouts proved to be the best strategy to promote flowering and yield the following year, but it is of limited commercial applicability. In contrast, tip-heading of the new branches (removal of the apex + 1st pair of nodes) was the worst post-pruning treatment in terms of promoting lateral branches of shoots and watersprouts that did not flower in the following season. Finally, the MC application did not show a differential trend in promoting return flowering and yield, probably because the dose used was low. The third experiment involved foliar application of increasing doses (0-3000 ppm) of MC on trees with high fruit load (year “on”) without pruning, and showed that doses of 2000-3000 ppm increased return flowering and yield in the following season, reducing alternate bearing. The results presented include: a) the first quantification of post-pruning vegetative growth during two seasons and the yield and its components during three growing seasons; b) the first demographic description of the responses to the simil-mechanical pruning of vigorous and non-vigorous branches and their transition towards the generation of flowering buds on three subsequent blooms; c) the first exploration of responses to olive tree post-pruning management systems; and d) very encouraging responses of yield and return flowering to MC application.

Keywords: Mechanical pruning, Vegetative growth, Yield, Alternate bearing, Branch demography, Return flowering, Post-pruning treatments, Mepiquat chloride, Photosynthesis, Stomatal Conductance.

Capítulo I

Introducción General

Capítulo I

Introducción General

1.1. Marco conceptual.

El olivo (*Olea europaea* L.) es una especie originaria de la cuenca del Mediterráneo, donde el clima se caracteriza por inviernos suaves con precipitaciones concentradas en ese período y veranos secos, calurosos y de elevada intensidad lumínica (Rapoport, 2008; Searles *et al.*, 2011). En la cuenca del Mediterráneo hay cerca de 9.6 millones de hectáreas implantadas con olivo (FAOSTAT, 2013), representando más del 95% de las hectáreas implantadas mundialmente. En la Argentina a partir de la década del noventa hubo una fuerte expansión pasando de 30 a 90.100 ha (SAGyP, 2017) debido a la implementación de la Ley de diferimientos impositivos. Esta expansión ha involucrado principalmente regiones del Chaco árido (Catamarca y La Rioja) donde los inviernos templados y secos, y los veranos cálidos y lluviosos contrastan marcadamente con el clima mediterráneo (Ayerza y Sibbet, 2001; Searles *et al.*, 2011).

En los últimos 20 años la tendencia en olivo, como anteriormente ocurrió con otros frutales, ha sido la de incrementar la densidad de plantación pasando de 100 a 400 plantas ha^{-1} (plantaciones intensivas), llegando hasta 2000 plantas ha^{-1} formando setos continuos súper-intensivos. Este último diseño permite una rápida entrada en producción de la plantación (e.g., Pastor *et al.*, 2007), pero mantener la productividad en el tiempo dependerá de un buen manejo (i.e., elección del cultivar, podas continuas que controlen el vigor, riego, fertilización, control de enfermedades) (revisado por Connor *et al.*, 2014). Varias de las técnicas normalmente utilizadas en frutales como portainjertos enanizantes (e.g. Malling y Malling-Merton en manzano) o bien variedades genéticamente enanas, no están disponibles en el cultivo de olivo, por ello el riego deficitario o la poda son las únicas herramientas de manejo disponibles. A la fecha, son tres los cultivares de bajo vigor más usados en setos súper-intensivos (i.e. Arbequina, Arbosana y Koroneiki) en España (Tous *et al.*, 2011, Díez *et al.*, 2016), Italia (Godini *et al.*, 2011) y Túnez (Larbi *et al.*, 2011, 2012), pero en nuestras condiciones agroclimáticas las mismas se comportan diferente con un vigor intermedio. En los últimos años, se liberaron al mercado algunos cultivares seleccionados para los sistemas de plantación de olivos en setos súper intensivos de menor porte, bajo vigor, copa compacta, rápida entrada en producción y alto contenido de aceite (e.g., Sikitita, 'FS-17', Arbequina AS-1, Arbequina IRTA i18, Arbosana i43, Koroneiki i-38, Oliana) aunque por el momento la superficie implantada con las mismas es reducida y pocos trabajos que evalúen a largo plazo el efecto del cultivar y densidad de plantación en este sistema (Fontanazza *et al.*, 1998; Rallo *et al.*, 2008; De la Rosa *et al.*, 2008; Camposeo y Godini, 2010; Díez *et al.*, 2016). En este contexto el estudio de las respuestas del olivo a la poda resulta de especial interés. En el caso particular del noroeste de Argentina, donde las condiciones climáticas y edáficas (i.e., altas temperaturas, larga estación de crecimiento, precipitaciones estivales, suelos profundos) favorecen el crecimiento vegetativo por sobre el reproductivo (Correa-Tedesco *et al.*, 2010; Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012), el control del vigor representa un tema clave para el manejo del cultivo.

La poda comprende aquellas operaciones que modifican la forma natural de los árboles frutales dando vigor o restringiendo el desarrollo de sus ramas. Los objetivos de la poda son: equilibrar el crecimiento vegetativo y reproductivo, regular la producción en el tiempo, favorecer la iluminación e aireación del canopeo, controlar el tamaño y mantener la arquitectura de la planta para favorecer la cantidad y calidad del producto cosechado, facilitando las operaciones agrícolas como la cosecha mecánica o manual. Otros objetivos de la poda son controlar insectos y enfermedades, y reducir la alternancia o vecería (Civantos, 1996; Pastor y Humanes, 2006). En el olivo, encontrar el equilibrio entre los brotes vegetativos y reproductivos por medio de la poda resulta dificultoso debido a que los brotes fructíferos (portadores de yemas floríferas exclusivamente) no son los más abundantes en la mayoría de los cultivares, sino que los brotes mixtos son los que predominan (Gucci y Cantini, 2000). Además, recién a la salida del invierno es posible diferenciar visualmente si las yemas son florales o vegetativas (Haberman *et al.*, 2017) y ello requiere de entrenamiento (Sanz-Cortés *et al.*, 2002) a diferencia de lo que ocurre en otros frutales, como por ejemplo el manzano, en donde las yemas floríferas poseen características diferenciales en forma y tamaño desde el otoño. Por otro lado, en la olivicultura moderna las operaciones culturales, entre ellas la recolección y la poda, tienden a la mecanización por los elevados costos y la baja disponibilidad de mano de obra (Peça *et al.*, 2002; Rius, 2006; Dias *et al.*, 2012). Este tipo de poda implica un corte no selectivo de ramas en el cuál se procede a rebajar ramas largas eliminando el ápice vegetativo (heading cuts).

La poda mecánica severa, al igual que la manual, resulta en una reducción foliar importante modificando la arquitectura de la parte aérea afectando la fotosíntesis de las hojas remanentes adaptadas a menor irradiancia y también la partición de carbono (Mika 1986; Gucci y Cantini, 2000). El review de Niinemets (2007), demuestra que las hojas en diferentes posiciones del dosel responden de manera diferente a las fluctuaciones dinámicas en la disponibilidad de luz. El follaje aclimatado a alta irradiancia responde más plásticamente a los cambios rápidos en el ambiente lumínico de la hoja, y es más resistente al calor y estrés hídrico. En vides (cv Sangiovese) adultas, cultivadas en macetas de 40 litros, sometidas a poda de invierno estándar, tardía y muy tardía de invierno se observó que intercambio neto de CO₂ del canopeo (NCER) máximo por área foliar fue un 37% mayor en la poda tardía invernal que en la estándar y eso se tradujo en un 17% más carbono estacional acumulado en la poda tardía que en la poda estándar de invierno (Gatti *et al.*, 2016). Por otro lado, la demografía de ramas (Costes *et al.*, 2003; Stephan *et al.*, 2007) y la inducción floral también son afectados por la poda, en particular la mecánica, debido a que se alteran los niveles endógenos hormonales (Mika, 1986; Saure, 1992; Génard *et al.*, 1998; Rademacher, 2000; Tworowski *et al.*, 2006; Bangerth, 2009) y por ende, la floración de los brotes de la siguiente temporada (i.e., floración de retorno). Entendemos aquí como poda mecánica a aquella realizada por discos dispuestos sobre una barra lateral que realiza numerosos cortes no selectivos a una sola profundidad y a su paso elimina porciones laterales o el top del canopeo (Imagen 1.1). Una remoción severa de los laterales y top de la copa involucra, primero, modificaciones en el ambiente lumínico que conducen a variaciones de las tasas fotosintéticas de las hojas remanentes, adaptadas a una menor relación rojo-rojo lejano y a bajos niveles de radiación fotosintéticamente activa (PAR; Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012) y que pasan a estar ubicadas en la periferia de la copa y bajo condiciones de alta irradiancia. En segundo lugar, la alocaión de carbono también se modifica temporalmente en árboles perennifolios adultos cuando se elimina el canopeo por una poda severa. Siguiendo la teoría de coordinación (Genard *et al.*, 2008), la remoción de área foliar por poda favorece

la partición de carbono hacia los órganos que representan destinos más fuertes (i.e., frutos y crecimiento vegetativo) en detrimento del crecimiento de raíces hasta el restablecimiento del equilibrio funcional. En este sentido, en naranjos de 18 años (cv. Valencia) luego de la remoción de ramas, hojas y frutos de 5 cm de diámetro equivalentes a un tercio de la copa, la partición se destina a los órganos vegetativos aéreos para restablecer el canopeo a expensas del crecimiento de raíces, en el corto plazo, y del crecimiento de frutos en el largo plazo (e.g. Eissenstat y Duncan, 1992). Por último, los disturbios generados en los niveles hormonales son otro factor a tener en cuenta, ya que este desbalance afecta negativamente la inducción floral de la siguiente campaña y por ende la floración de retorno de los nuevos brotes (Bangerth, 2009). Las alteraciones o modificaciones en el ambiente lumínico, partición de carbono y niveles hormonales post-poda no selectiva son variables y temporales y dependerán de la intensidad de remoción, el momento, la carga de frutos, estado nutricional y la especie. Además, la mayor parte de la información fue generada para frutales de hoja caduca (principalmente manzano y duraznero) en tanto, la información disponible para frutales de hoja perenne como el olivo es escasa y muchas de las respuestas ecofisiológicas a la poda todavía se cuestionan.



Imagen 1.1. Podadora mecánica de discos eliminando los laterales del seto de olivos.

1.1.1. Efecto de la poda mecánica sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento.

En general, los árboles de olivo se podan mecánicamente para ajustar su volumen a la cosecha mecánica. Como respuesta al corte, la remoción de área foliar por poda favorece la partición de carbono hacia los órganos que representan destinos más fuertes (i.e., frutos y crecimiento vegetativo) en detrimento del crecimiento de raíces hasta el restablecimiento del equilibrio funcional (Genard *et al.*, 2008). En olivo, no existen estudios que analicen el efecto de esta práctica sobre la asignación de carbono entre crecimiento vegetativo y reproductivo (Connor y Fereres, 2005). Las respuestas del crecimiento y partición post-poda están influenciados por factores intrínsecos a la plantación como cultivar, clima, suelo, y también por variables asociadas al manejo como

carga de fruta al momento de podar, momento e intensidad de poda. Por ejemplo, el cultivar Arbequina es recomendado para sistemas súper-intensivos en setos por presentar vigor medio a bajo, aunque el tamaño final depende en gran medida de las condiciones climáticas y del manejo agronómico (Camposeo y Godini, 2010). En consecuencia, las condiciones climáticas y el tipo de suelo del noroeste argentino modifican las dinámicas de crecimiento vegetativo extendiendo el periodo de crecimiento de ramas en algunos casos hasta el otoño, adelanta la floración y el crecimiento frutos y temperaturas elevadas afectan la síntesis y concentración de aceite (Correa-Tedesco *et al.*, 2010; Rondanini *et al.*, 2011, 2014; García-Inza *et al.*, 2014, 2016; Fernández *et al.*, 2015; Aybar *et al.*, 2015; Albarracin *et al.*, 2017). En la misma línea, hay indicios de que el crecimiento vegetativo de los árboles es también regulado por la carga de frutos como se ha visto en estudios previos (e.g., Fernández *et al.*, 2015). Por otro lado, en la literatura y para olivo, hay muchos informes acerca de las respuestas a la poda mecánica invernal, pero están focalizados en comparar técnicas de poda manual y mecánica (Giametta y Zimbalatti, 1997; Ferguson *et al.*, 2002; Peça *et al.*, 2002; Tombesi *et al.*, 2012) o eficiencias en máquinas podadoras y cosechadoras (Días *et al.*, 2004, 2012; Farinelli *et al.*, 2011). En cambio, los posibles efectos de la intensidad y momento de poda mecánica sobre el crecimiento vegetativo y el reproductivo han sido poco abordados.

En general, a mayor intensidad de remoción por poda mayor es la respuesta del crecimiento vegetativo (Mika, 1986; Forshey y Elfving, 1989; Li *et al.*, 2003 b). En pasturas, sometidas a intensidades crecientes de defoliación, se comprobó que la tasa de crecimiento relativo (TCR) de la parte aérea aumentaba exponencialmente con la intensidad de defoliación (Oosterheld, 1992). En durazneros de maduración temprana (cultivar Alexandra) donde el crecimiento vegetativo y el de frutos ocurre simultáneamente, se observó que a medida que aumenta la remoción de brindillas con la poda invernal, aumenta el crecimiento de los brotes laterales, logrando una alta relación hoja/frutos, que posteriormente generan mayor cantidad de asimilados logrando un mayor calibre de frutos (Siham *et al.*, 2005). En olivo, se asume que a medida que se remueven intensidades crecientes de área foliar mayor es la respuesta del crecimiento vegetativo aéreo (Gucci y Cantini, 2000). Sin embargo, esta observación no está acompañada por cuantificaciones de los cambios en las variables de estado de los diferentes órganos que permitan comprender la respuesta a la poda y elegir la mejor estrategia que controle el crecimiento vegetativo, minimice la alternancia productiva y permita adaptar la copa a la cosecha mecanizada.

Con respecto al momento en que se realiza la poda, ésta normalmente se realiza en dos épocas según el objetivo perseguido de manejo: durante el receso invernal de los meristemas con el objeto de incrementar el crecimiento de los brotes o durante el verano para reducir el crecimiento de los mismos y mejorar la iluminación del interior de la copa y de los frutos (Mika, 1986; Forshey y Elfving, 1989). Por ejemplo, en duraznero la poda de verano luego de endurecimiento del carozo favorecería la alocaión de carbono a los frutos mejorando su calidad y reduciría el crecimiento vegetativo (Chalmers *et al.*, 1981; Day *et al.*, 1989; Médiène *et al.*, 2002). Sin embargo, algunos autores cuestionan las ventajas de realizar la poda en este momento frente a la poda de invierno tanto en manzano (Li *et al.*, 2003 b) como en duraznero por falta de controles adecuados en los experimentos realizados (Marini y Corelli-Grappadelli, 2006). En olivo, la poda normalmente se realiza durante el invierno, previo al pico de crecimiento vegetativo de la primavera generando un excesivo crecimiento vegetativo. También se realiza en verano con el objeto de reducir la parte superior (“top”) del árbol y adaptarlo a la altura de la cosechadora. Hasta el

momento, en olivo no hay trabajos que hayan cuantificado el crecimiento vegetativo y componentes del rendimiento frente a la poda de invierno *versus* verano.

La asignación de carbono en las plantas ha sido ampliamente estudiada y continúa siendo un tema de debate entre fisiólogos vegetales. Para frutales, se han propuesto diferentes tipos de modelos para describir la asignación de carbono que generan simulaciones más o menos realistas y son herramientas útiles para describir la morfología de los mismos. Poder modelar los cambios en asignación de carbono frente a modificaciones en el ambiente o el manejo es una herramienta importante que simplifica la realidad y permite predecir el impacto sobre el rendimiento futuro. En olivo, Villalobos *et al.* (2006) propusieron coeficientes de partición que permiten estimar la biomasa de tallos y de frutos y así el rendimiento en aceite. Si bien este modelo simple es de gran utilidad y sus coeficientes son de fácil obtención, el uso de este tipo de modelos en frutales es limitado porque pueden estar muy afectadas por las condiciones ambientales (Génard *et al.*, 2008) y no son apropiados para predecir los cambios en la partición en respuesta a prácticas de manejo como la poda. En la actualidad, la tendencia en fruticultura es integrar aspectos fisiológicos y de arquitectura de la planta en los modelos denominados funcionales–estructurales donde se asigna diferente capacidad competitiva a los órganos según su ubicación en la copa y con respecto a otras fuentes y/o destinos (Allen *et al.*, 2005; López *et al.*, 2008). Estos modelos complejos son los más apropiados para predecir los cambios en la partición y sus consecuencias (i.e. rendimiento, interceptación de luz, demografía de ramas y arquitectura) frente a la poda pero su grado de complejidad en cuanto a los datos necesarios para correrlos como para construirlos hace que sean poco prácticos. Entonces modelos sencillos relacionados a la respuesta a la poda podrían ser de gran utilidad. Para poder construir un modelo simple que permita predecir la respuesta de los árboles a la poda mecánica necesitamos conocer las variaciones de crecimiento de las nuevas ramas, tronco, frutos y contenido de aceite frente a variaciones en el área foliar removida y momento de ocurrencia de este evento.

La intervención con la poda modifica el estado de algunas variables (e.g., hojas y ramas), también la arquitectura del árbol, afectando en forma directa e indirecta la alocaión de carbono dentro de la planta. Uno de los efectos importantes de la poda es mejorar la distribución de la radiación dentro de la copa. Cherbiy-Hoffmann *et al.* (2012) informaron la distribución de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en setos de olivos sometidos a poda mecánica de un lateral y top de la copa durante dos estaciones de crecimiento. La PAR recibida en el lado podado varió entre alta (> 60% de la incidente) a intermedia (20-60% de la incidente) justo después de la poda, mientras en el lado no podado la PAR varió entre intermedia a baja (<20% de la incidente). Esta modificación en la distribución de la PAR influye sobre el crecimiento y partición de carbono. Por ejemplo, en duraznero Bussi *et al.* (2011) observaron que realizando un raleo de ramas en el verano luego de una poda intensa en invierno mejora la iluminación de los frutos en crecimiento y las hojas cercanas (principales fuentes de carbohidratos para los mismos), y con ello la tasa de crecimiento y el peso seco final a cosecha. También en manzano, al mejorar la distribución de la PAR dentro del canopeo con la poda aumentó el tamaño y calidad de los frutos (Jackson y Palmer, 1977 a y b). Estas modificaciones en la distribución de la PAR como consecuencia de la poda no sólo afecta el crecimiento de los frutos sino la tasa fotosintética de las hojas remanentes.

En general, los ejemplos en especies arbóreas indicarían que la aclimatación del aparato fotosintético a los cambios generados por la poda en estas especies es más lenta

que en herbáceas. En varias especies del género *Eucalyptus*, se observó que intensidades crecientes de defoliación incrementaron la fotosíntesis de las hojas remanentes aún después de 6 meses de realizada la poda respecto a la de árboles no podados. Esto se explicó por un aumento en la conductancia estomática (Pinkard *et al.*, 1998; Pinkard, 2003), aunque bajos contenidos de nitrógeno foliar pueden contribuir a que no se detecte la regulación fotosintética de las hojas remanentes (Alcorn *et al.*, 2008). En estos casos, como en la mayoría de los forestales, la poda consiste en la eliminación de ramas ubicadas en la parte más baja y sombreada del canopy. La poda de producción, sea mecánica o manual, en árboles frutales difiere bastante de la aplicada en especies forestales y es posible que la regulación de la fotosíntesis de las hojas residuales ocurra más rápido. Por ejemplo, en manzanos adultos podados ligeramente durante el verano, a los 14 días de la poda, las hojas del interior y parte media del canopy mostraron poca capacidad de recuperación de fotosíntesis (Li y Lakso, 2004). Y en vides (cv Sangiovese) adultas, cultivadas en macetas, se aplicó poda estándar y tardía de invierno y se observó que el intercambio neto de CO₂ del canopy (NCER) máximo por área foliar fue un 37% mayor en la poda tardía invernal que en la estándar y eso se tradujo en un 17% más carbono estacional acumulado en la poda tardía que en la poda estándar de invierno (Gatti *et al.*, 2016). En olivo con la poda mecánica se eliminan las hojas jóvenes de la periferia aclimatadas a alta radiación, dejando expuestas las hojas más viejas y adaptadas a condiciones de sombra. Está demostrado, en olivo, que las hojas adaptadas a condiciones de sombra presentan una pequeña reducción en la densidad de estomas, menor masa foliar específica (SLM), conductancia estomática (g_s) y A (tasa de fotosíntesis neta) (Gregoriu *et al.*, 2007). Lo desconocido hasta el momento y poco estudiado en frutales en general, es el efecto de intensidades crecientes de poda de invierno sobre las características morfológicas y variables fisiológicas de las hojas remanentes (i.e. SLM, fotosíntesis neta, transpiración y conductancia estomática) que se encontraban a una baja relación R/RL e irradiancia y que pasan a estar ubicadas en la cara externa y expuesta del canopy.

1.1.2. Efecto de la poda sobre la demografía de ramas y su floración de retorno.

Las diferentes técnicas de poda de acuerdo a la longitud de los órganos eliminados, su tipo (i.e. brotes vegetativos o floríferos) y el momento en el cual se realiza el corte afectan la arquitectura del árbol, la demografía y la floración de los nuevos brotes. Se entiende por demografía al estudio de la frecuencia de tipos (e.g., ramas vegetativas, reproductivas, chupones) y edad de ramas y la modificación de su distribución en respuesta a modificaciones en el ambiente o manejo. La demografía y la floración de retorno dependen de la tasa de crecimiento de los brotes que determinan en parte la posición de las fructificaciones (i.e. posición lateral o terminal) (Lauri *et al.*, 1996; Costes *et al.*, 2003; Stephan *et al.*, 2007; Bevacqua *et al.*, 2012). Por ejemplo en manzano, se evaluó la demografía y la floración de los brotes generados luego de la poda invernal observándose que estas variables son muy afectadas por el cultivar con pequeña influencia del tipo de conducción (Stephan *et al.*, 2007). A su vez, la proporción de brotes vegetativos/reproductivos es mayor cuando se rebajan ramas largas que cuando se cortan ramas florales cortas. En duraznero, la poda invernal estimuló el crecimiento de brotes verticales en la parte superior de la copa más que en la parte baja, y estos cambios se asociaron con diferencias en los niveles de auxina y citoquinina (Tworkoski *et al.*, 2006). El primer antecedente de análisis demográfico en olivo evaluó las variaciones frente a la alternancia productiva de los nuevos brotes y su posterior floración medidas sobre ramas

de 5 años de edad (Castillo-Llanque y Rapoport, 2011). Luego, Rosati *et al.* (2013) analizaron algunos parámetros arquitectónicos y demográficos sobre ramas de 3 años de edad en setos súper-intensivos y demostraron que el cultivar Arbequina presenta mayor ramificación (i.e. ramas por yema) asociada con ramas delgadas que resultan en una mayor floración de retorno. Es necesaria más información sobre si la frecuencia de ramificación cambiaría si la edad de madera en los puntos de corte es más joven o más vieja. Los trabajos arriba mencionados no analizaron la frecuencia de los nuevos brotes según su vigor, la edad de madera en el punto de corte y su posterior floración en respuesta a la poda de rebaje realizada mecánicamente.

Según el momento en que se realice la intervención con poda, ésta podría afectar de manera diferente a la concentración interna de giberelinas (Bangerth, 2006) y con ello inhibir o promover la floración de retorno. Si la poda se realiza en endurecimiento de carozo se eliminan sitios potenciales de síntesis de giberelinas (AG_s), como son los ápices de ramificaciones y los embriones. Con ello podría reducirse la inhibición de la floración de retorno y la alternancia productiva podría ser menos acentuada (Fernández-Escobar *et al.*, 1992). En manzano, la concentración de AG_s es mayor en los ápices de los brotes cuando la poda se realiza en invierno, resultando en una menor inducción floral con respecto a la poda de verano (Bangerth, 2006). En olivo, la poda de verano y más precisamente en endurecimiento de carozo es poco común y los efectos generados sobre la inducción floral y la floración de retorno de las ramas nuevas se desconocen.

En los árboles frutales uno de los efectos esperados a partir de la eliminación de los ápices vegetativos, es una alteración de la partición hormonal de auxinas, citocininas (Saure, 1992; Tworkoski *et al.*, 2006) y principalmente giberelinas (Mika, 1986), debido a la reducción del número de meristemas, los cuales son fuentes y destinos de hormonas. El incremento de la síntesis de giberelinas promueve el desarrollo del sistema vascular y activa el transporte de nutrientes, intensificando aún más el crecimiento vegetativo en detrimento del reproductivo (Mika, 1986). Por lo tanto, a mayor intensidad de poda, mayor será la síntesis de AG_s. El efecto del AG_s en la mayoría de las angiospermas leñosas parece inhibir la inducción floral (Bangerth, 2009) afectando de manera muy marcada la floración de retorno. También, las giberelinas estarían involucradas en la dormición de yemas florales. Por ejemplo, altas concentraciones de AG₁/AG₃ libre fueron encontradas en yemas dormidas de duraznero y esa concentración disminuyó hacia floración (Luna *et al.*, 1990). No obstante, se ha demostrado en cítricos que no todo el AG_s es inhibidor de la floración y algunos de sus derivados promueven la formación de flores (Goldschmidt *et al.*, 1998). La poda de verano se asocia a menor crecimiento vegetativo por favorecer la alocación de carbono a los frutos. Sin embargo, el efecto de la poda severa de verano sobre la floración de retorno en olivo se desconoce. Aquí se analizará demográficamente el nuevo crecimiento post-poda mecánica según intensidad de poda de invierno y de verano y la edad de madera sobre las que crecen las nuevas ramificaciones y la floración de retorno de los tipos de ramas durante tres estaciones de crecimiento.

1.1.3. Efecto de prácticas de post-poda sobre la floración de retorno

En los árboles frutales, uno de los efectos esperados a partir de la eliminación del 40-50% la copa por poda severa mecánica de invierno es un crecimiento vegetativo excesivo con predominio de ramas vigorosas (Mika, 1986; Forshey y Elfving, 1989;

Albarracin *et al.*, 2017). En olivo esta respuesta podría estar relacionada a que ramas estructurales de diámetros mayores (i.e. ramas viejas) quedan expuestas luego de una poda severa. Entonces ante un evento de poda, ramas viejas de edades de madera mayores a 2 años quedan expuestas originando ramas nuevas de crecimiento vertical con entrenudos al inicio muy cortos que aumentan rápidamente de longitud con hojas pequeñas y redondeadas (Fiorino y Marone, 2010).

Por otro lado, otro efecto esperado en respuesta a la poda severa de invierno es una alteración de la partición hormonal de auxinas, citocininas (Saure, 1992; Tworowski *et al.*, 2006) y principalmente giberelinas (Mika, 1986), debido a la reducción del número de meristemas, los cuales son fuentes y destinos de hormonas. Luego, los meristemas de las nuevas ramas generadas por efecto del corte también sintetizan AG_s que inhiben la inducción floral en los árboles frutales (Bangerth, 2009). A pesar del crecimiento vegetativo excesivo y el desbalance hormonal que conllevan a una baja floración de retorno, la práctica de poda continúa siendo necesaria para mantener el tamaño apropiado de la copa en setos de alta densidad donde la cosecha se realiza mecánicamente (Gucci y Cantini, 2000; Dias *et al.* 2004, 2012; Lavee, 2007; Rius y Lacarte, 2010; Connor *et al.* 2014). Como se indicó anteriormente, los estudios de poda mecánica no analizaron en un contexto demográfico el crecimiento de ramas nuevas y la floración de retorno de las mismas y mucho menos se evaluaron posibles prácticas post-poda que permitan mejorar la floración de retorno de las ramas nuevas. Por tal motivo, disponer de información sobre el efecto de prácticas de post-poda como el raleo o despunte de las nuevas ramas generadas por la poda mecánica invernal o la aplicación de inhibidores de síntesis de AG_s que mejoren la tendencia a florecer podría permitir el control del tamaño de la copa sin comprometer el rendimiento y sus componentes.

La poda de raleo (thinning cut), consiste en la eliminación manual y selectiva de ramas completas manteniendo intacta la dominancia apical de las ramas residuales (Mika, 1986; Gucci y Cantini, 2000). En algunos frutales de pepita y carozo, se utiliza el raleo para eliminar los brotes desde la base mejorando la iluminación de las ramas reproductivas remanentes. También el raleo de ramas vigorosas a principios de verano, generaría mayor competencia entre los frutos remanentes y los ápices en crecimiento diluyendo el efecto vigorizante de la poda invernal (Arjona y Santinoni, 2007). En manzano, las ramas remanentes más cercanas a la rama raleada muestran crecimiento apical manteniendo la dominancia apical sobre las yemas laterales (Fumey *et al.*, 2011). Por contraste, en peral el raleo de ramas en verano controló el número y tamaño de las ramas, pero esta reducción en el vigor no se asoció con un incremento en la floración de retorno de la siguiente campaña (Asín *et al.*, 2007). Por otro lado, Bussi *et al.* (2011) en duraznero de floración temprana (cv. Alexandria), observaron que el raleo severo de chupones (eliminación del 75% de los chupones) luego de una severa poda invernal mejoró la iluminación de los frutos en desarrollo y consecuentemente mejoró su tamaño y calidad. Sin embargo, el efecto del raleo en la floración de retorno no se evaluó en ese estudio. Para olivo, no se ha documentado el efecto del raleo de ramas vigorosas luego de una poda mecánica de invierno severa con el objeto de mejorar la floración de retorno. Sobre la base de lo expuesto, considero que el raleo en verano de ramas vigorosas nuevas (i.e., chupones) generadas luego de la poda invernal permitirá disminuir la concentración de AG_s y con ello favorecer la inducción de las yemas florales.

Por otra parte, la poda de despunte (heading cut) puede ser manual o mecánica y consiste en la eliminación de la porción terminal de ramas. Este tipo de corte suprime la

dominancia apical y estimula la brotación de las yemas laterales (Mika, 1986). La eliminación del ápice de la rama genera un desbalance hormonal, principalmente de auxinas causantes de la dominancia apical pero también de AG_s y citocininas (Mika, 1986; Saure, 1992; Tworkoski *et al.*, 2006). Como se mencionó anteriormente, síntesis elevadas de AG_s en los meristemas de ramas nuevas parecen inhibir la inducción floral en especies leñosas (Bangerth, 2009). No obstante, la respuesta del crecimiento vegetativo dependerá de la intensidad del despunte y del momento de aplicación (Mika, 1986). Tanto el despunte de verano o invierno estimulan más el crecimiento primario (número de nudos y longitud) que en los árboles sin despunte. Sin embargo, el crecimiento es mayor cuando el despunte se realiza en invierno que en verano (Fumey *et al.*, 2011). En manzano, el despunte de ramas de uno y dos años de edad realizado a mediados de otoño incrementó el crecimiento vegetativo en todos los cultivares. En la siguiente temporada, dicho crecimiento se asoció con un mayor número de yemas reproductivas en las ramas de un año más que en las de dos años; pero esta respuesta fue diferente según el cultivar en cuestión (Mohammadi *et al.*, 2013). En cuanto a olivo, no existen trabajos que hayan evaluado la práctica de despunte como herramienta de manejo para aumentar la inducción floral en ramas generadas luego de una poda mecánica severa de invierno. En función de lo hasta aquí expuesto, el despunte de ramas nuevas a principios de verano podría disminuir el vigor de las ramas nuevas, favoreciendo la inducción floral de las yemas laterales inferiores y mejorar la floración de la siguiente temporada.

La aplicación de retardantes del crecimiento o inhibidores de la biosíntesis de giberelinas es una herramienta valiosa en cultivos intensivos y hortícolas para controlar el crecimiento vegetativo y favorecer la inducción floral y, por ende, la floración de retorno. Los más utilizados en frutales arbóreos son el paclobutrazol (PBZ), prohexadiona-Ca y uniconazol (Casper y Taylor, 1989; Meilan, 1997; Asín *et al.*, 2007). El prohexadiona-Ca pertenece al grupo de los ciclohexadionas y reduce los niveles de AG₁ aumentando la concentración de su precursor, el AG₂₀ en la etapa final de la biosíntesis (Rademacher, 2000). La aplicación de PBZ y prohexadiona-Ca en duraznero y otros frutales arbóreos produjo un incremento de la inducción floral, una disminución del crecimiento vegetativo y una mayor floración de retorno en los árboles tratados (Casper y Taylor, 1989; Meilan, 1997; Asín *et al.*, 2007). El PBZ y uniconazol son triazoles inhibidores de los primeros pasos de la biosíntesis del AG_s. El PBZ y uniconazol tienen absorción relativamente baja por las ramas debido a que su translocación es principalmente acrópeta (i.e., movimiento xilemático desde las raíces a los ápices; Rademacher, 2000). En olivo, las aplicaciones foliares de PBZ en dosis crecientes no mostraron resultados consistentes sobre la floración cuando fue combinado con una poda ligera de ramas mal ubicadas y las que crecían en la base del tronco. Por otro lado, la aplicación de PBZ controló el crecimiento vegetativo hasta 60 días post aplicación del producto (Cruz *et al.*, 2011).

En la actualidad, hay nuevos antecedentes en setos súper intensivos de olivo que aplicaron en el suelo PBZ o uniconazol y redujeron el crecimiento vegetativo e incrementaron la floración y fructificación (Schneider *et al.*, 2009, 2012; Salama, 2015; Moreira *et al.*, 2016). Sin embargo, los primeros informes mostraron respuestas parciales o nulas del efecto del paclobutrazol sobre la inhibición del crecimiento de brotes y/o incrementos en la densidad de inflorescencias y rendimiento (Navarro *et al.*, 1989; Fernández-Escobar *et al.*, 1992; Lavee y Haskal, 1993). La variabilidad en las respuestas pueden ser atribuidas a factores relacionados con las concentraciones empleadas, la

absorción del compuesto, las condiciones climáticas, la etapa de desarrollo de la planta en el momento de la aplicación y el cultivar (Goldschmidt *et al.*, 1998; Samani, 2014). Otro inhibidor de la síntesis de giberelinas es el cloruro de mepiquat (CM) comúnmente aplicado en cultivos de algodón, ajo y cebolla. Este producto pertenece al grupo que posee amonio cuaternario en su formulación y bloquea los primeros pasos de síntesis de AG_s (Rademacher, 2000). Stino *et al.* (2010) aplicaron en verano y por vía foliar dosis crecientes (0-2000 ppm) de CM y ralearon el 25 y 50% de frutos en olivos con alta carga con el objeto de mejorar la floración al año siguiente (año *off*). Ellos observaron que todos los tratamientos incrementaron la densidad de flores, cuaje y rendimiento con respecto al control sin tratar en la siguiente temporada. La elección de alguno de estos compuestos no es tan sencilla y deben considerarse factores tales como la sensibilidad de la especie al producto, forma de absorción, translocación, persistencia, lugar de acción, momento, dosis, forma de aplicación (Rademacher, 2000) y que el producto este permitido por los organismos reguladores. En Argentina, el único de los inhibidores de AG_s antes mencionados que está permitido es el CM (Senasa, 2010). Este motivo, sumado a que no existían trabajos en los cuales se aplicaran CM luego de realizada la poda invernal con el objetivo de evaluar la tendencia a florecer de los brotes generados, condujo a la selección de este inhibidor de la síntesis de AG_s para realizar una exploración experimental de sus efectos.

En resumen, se pretende resolver el interrogante si el despunte o el raleo de nuevas ramas generadas como efecto de la poda invernal o la aplicación de CM luego de una poda de invierno reducen el crecimiento vegetativo y mejoran la floración de retorno y el rendimiento de la siguiente temporada. Además se evaluará dosis crecientes de CM en árboles sin poda con el fin de determinar la dosis óptima que mejore la floración de retorno. El presente proyecto busca ampliar los conocimientos de la fisiología del olivo, en particular analizando la respuesta del árbol al corte, y poder así disponer de herramientas que permitan mejorar el manejo del cultivo.

1.2. Objetivos e hipótesis

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la influencia del momento e intensidad de poda sobre el crecimiento vegetativo, la demografía de brotes nuevos y el rendimiento en árboles jóvenes de olivo (cv. Arbequina) en condiciones de clima no mediterráneo.

1.2.2. Objetivos específicos.

Objetivo específico 1: Analizar los cambios inducidos en la formación de nuevas ramificaciones y en el funcionamiento de las hojas remanentes en respuesta a intensidades crecientes de poda mecánica durante yema en reposo (i.e., invierno) y endurecimiento de endocarpio (i.e., principios de verano) sobre las caras laterales de árboles de olivo.

***Hipótesis 1.1:* En la primera y segunda estación de crecimiento, el número de ramas vegetativas nuevas por punto de corte es mayor a mayor intensidad de poda. La poda severa de verano genera menor número de ramas vegetativas nuevas por punto de corte**

que la poda severa de invierno. Esto se explica porque luego del pico de crecimiento primaveral los frutos en activo crecimiento compiten con el crecimiento de ramas nuevas.

Hipótesis 1.2: En la primera estación de crecimiento el rendimiento y sus componentes (i.e. número y tamaño de frutos) disminuyen con la intensidad de poda invernal y la poda de verano. Esto se explica porque en el invierno se eliminan sitios potenciales de fructificación y en la de verano se eliminan frutos.

Hipótesis 1.3: Luego de la poda invernal, la fotosíntesis neta y la conductancia estomática de las hojas de la periferia de la copa es menor a mayor intensidad de poda y mayor que los árboles sin poda. Esto se explica porque a mayor intensidad de poda las hojas bien iluminadas fueron eliminadas dejando expuestas las hojas adaptadas a la sombra que poseen menor densidad de estomas, área foliar específica y conductancia estomática respecto a las hojas adaptadas a luz solar plena de los árboles sin poda. La tasa fotosintética a saturación lumínica en olivo está fuertemente asociada a la conductancia estomática (Díaz Espejo et al. 2007).

Objetivo específico 2: Comparar la respuesta de la demografía de brotes nuevos en respuesta a cantidades crecientes de biomasa removida en dos momentos diferentes: en invierno y verano.

Hipótesis 2.1: A mayor intensidad de poda invernal mayor es la proporción y longitud de chupones vigorosos que brotes de bajo vigor con respecto a la poda severa de verano y el control sin poda. La floración de retorno de los chupones vigorosos es nula y escasa en los chupones vigorosos y chupones laterales en la siguiente temporada. Consecuentemente, la intensidad y momento de poda repercutirán sobre la floración de retorno debido a los cambios en el tipo de brotes y su vigor.

Hipótesis 2.2: A mayor edad de madera en el punto de corte, mayor es la cantidad y longitud de chupones vigorosos generados, mientras que puntos de corte de menor edad se asocian con brotes cortos de bajo vigor. Consecuentemente edades de madera crecientes en el punto de corte se asocian con menor floración en la siguiente temporada.

Objetivo específico 3: Evaluar el efecto del raleo y despunte de brotes nuevos a principios de verano y de la aplicación de anti-giberelinas sobre la floración de retorno en árboles podados al final del invierno.

Hipótesis 3.1: El raleo de chupones vigorosos principalmente y de brotes de bajo vigor a principios de verano post-poda (eliminando el 50% de los chupones vigorosos por punto de corte), incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera con respecto a las plantas podadas pero no raleadas. Este comportamiento reflejaría el hecho que la eliminación de chupones vigorosos que sintetizan giberelinas, las que inhiben la inducción floral, favorecería la floración de retorno.

Hipótesis 3.2: El despunte de brotes de bajo vigor y chupones vigorosos del año luego de endurecimiento del carozo (principios de verano post-poda), incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera con respecto a las plantas podadas pero no despuntadas. Este comportamiento reflejaría el hecho que la eliminación de yemas apicales desinhibiría la brotación e interrupción del estado de latencia de las yemas accesorias y laterales y este nuevo crecimiento se asociaría con incrementos en la

producción de yemas florales en la siguiente temporada por un mayor número de sitios potenciales de fructificación.

Hipótesis 3.3: *La aplicación de anti-giberelinas (cloruro de mepiquat, CM) a principios de verano en plantas podadas pero no raleadas ni despuntadas incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera. Este comportamiento reflejaría el hecho que la aplicación de CM inhibiría la biosíntesis de AG_s involucrado en el estado de latencia de yemas (i.e. paradormancia y endodormancia) de los brotes en activo crecimiento. Consecuentemente, el crecimiento de esas ramas sería menor pero se incrementaría la floración de retorno y, consecuentemente, el rendimiento de la siguiente temporada.*

Hipótesis 3.4: *A mayor dosis de CM en árboles de olivo con alta carga de frutos, mayor es la producción de yemas florales en la siguiente primavera respecto al control sin aplicación de CM. Este comportamiento reflejaría el hecho que la aplicación de CM inhibiría la biosíntesis de AG_s, involucrado en el estado de latencia de yemas (i.e. paradormancia y endodormancia), de los frutos y brotes en activo crecimiento y ello favorecería la inducción de las yemas florales luego del reposo invernal e incrementaría la floración de retorno y rendimiento de la siguiente temporada.*

1.3. Estructura de la tesis

Esta tesis se centró en evaluar la influencia del momento e intensidad de poda mecánica sobre el crecimiento vegetativo, demografía de ramas y su relación con el rendimiento y sus componentes. El abordaje de esta temática fue estructurada en cinco capítulos, en los cuales se presentarán los resultados de los experimentos efectuados. En el Capítulo I se presentó el problema objeto de estudio, exponiendo los antecedentes existentes y los interrogantes planteados. Los resultados presentados en el Capítulo II documentan el efecto de diferentes intensidades de poda mecánica invernal y poda mecánica severa de verano sobre el crecimiento vegetativo y del tronco durante dos temporadas y el rendimiento y sus componentes durante tres temporadas. En este estudio se cuantificó el crecimiento total de las ramas nuevas por rama base (BB) o punto de corte (número de ramas nuevas totales por BB, longitud total de ramas nuevas por BB y número total hojas por BB. La edad de madera de BB fue variable entre 0-4 años de edad según la intensidad y momento de poda) y el incremento del área seccional del tronco (TCSA). Esta información permitió describir la respuesta del crecimiento vegetativo y componentes del rendimiento en función del área foliar removida mecánicamente. Además, en este mismo experimento se exploró el efecto de la poda sobre el funcionamiento fotosintético de las hojas remanentes post-poda. El Capítulo III contiene los resultados obtenidos en los análisis demográficos de las ramas nuevas generadas por los tratamientos de poda y su transición vegetativa/reproductiva. Se caracterizaron 4 tipos de ramas nuevas generadas por la poda mecánica que fueron observadas durante tres campañas para determinar el momento en el que cambian al estado reproductivo. El Capítulo IV contiene los resultados de un experimento en el que se evaluó el efecto de

tres prácticas de manejo de post-poda sobre el balance de ramas vegetativas y reproductivas y la floración de retorno de ramas generadas por la poda mecánica invernal. Las prácticas evaluadas fueron el raleo de ramas vigorosas nuevas, el despunte de ramas nuevas y la aplicación de un inhibidor de síntesis de giberelinas. Estos tratamientos se aplicaron sobre árboles sometidos a la intensidad más severa de poda mecánica de invierno (remoción del 40% del volumen de copa) en función de los resultados de crecimiento, rendimiento y floración de retorno obtenidos en los Capítulos II y III. Se analizaron los cambios demográficos de ramas nuevas en función de las prácticas post-poda aplicadas. El Capítulo IV también contiene los resultados de un experimento que involucró la aplicación foliar de dosis crecientes de CM a árboles sin podar con el objeto de evaluar los efectos de ese tratamiento sobre la floración de retorno y el rendimiento.

El último capítulo de la tesis (Capítulo V) contiene una síntesis y discusión general sobre los resultados más relevantes, incluyendo una validación de las hipótesis planteadas en el presente capítulo. Este capítulo cierra con consideraciones acerca de cuestiones que deberían, a la luz de los resultados obtenidos en los experimentos y análisis efectuados en relación con esta tesis, ser abordados en investigaciones futuras.

Capítulo II

Efecto de la poda mecánica invernal y de verano sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento y sus componentes¹.

Albarracín V, Hall AJ, Searles, PS, Rousseaux MC. 2017. Responses of vegetative growth and fruit yield to winter and summer mechanical pruning in olive trees. Sci. Hortic. 225: 185-194.

Capítulo II

Efecto de la poda mecánica invernal y de verano sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento y sus componentes.

2.1. Introducción

La intervención con podadora mecánica en los olivares es una de las tendencias crecientes en la olivicultura moderna. La sustitución de la poda manual por mecanizada se debe en gran parte a los elevados costos de producción y la escasa mano de obra disponible (Peça *et al.*, 2002; Días *et al.*, 2012). La poda mecánica es realizada por un conjunto de discos de corte sobre una barra propulsados por un tractor. Los discos realizan numerosos cortes de ramas a una sola profundidad y ángulo sin discriminar en grosor, tamaño ni tipo de rama. Tal poda altera el crecimiento y desarrollo de los árboles individuales y setos porque la eliminación de los ápices de las ramas conduce al restablecimiento de las relaciones hormonales y nutrientes de los numerosos brotes laterales restantes en cada rama (Génard *et al.*, 1998). En el caso de la poda mecánica, el rebaje de ramas eliminando ápices pero dejando numerosas yemas sobre la misma rama, altera el crecimiento del árbol en forma aún más marcada. Sin embargo, la poda mecánica puede ser una herramienta de manejo ventajosa para mantener un tamaño de copa adecuado para las cosechadoras mecánicas, mejorar la distribución de la luz y reducir la alternancia productiva (Connor *et al.*, 2014).

Ya sea manual o mecánica, la poda en olivo se realiza con más frecuencia durante el invierno, cuando hay pocas tareas culturales o de manejo para realizar. Aunque este período coincide con una extensión mínima de los brotes, hay poca información disponible para olivo en cuanto a la elección del momento o al uso de diferentes sistemas de conducción para el crecimiento subsiguiente de la rama y el rendimiento de frutos (Aïachi Mezghani *et al.*, 2012). De hecho, la poda de invierno en los árboles frutales ha sido a menudo asociada con el crecimiento excesivo de los brotes (Mika, 1986; Forshey y Elfving, 1989; Siham *et al.*, 2005). Como se ha demostrado en manzano, la poda de verano puede ofrecer algunos beneficios, incluyendo una mejor iluminación del fruto, mayor tamaño del fruto, crecimiento vegetativo reducido y una transpiración reducida de la copa (Mika, 1986; Li *et al.*, 2003 a, b). En esta dirección, Li *et al.* (2003 a, b) observaron que la cantidad de carbono fijado por la planta disminuye en forma proporcional al área foliar removida por la poda de verano, pero su efecto sobre el crecimiento vegetativo y el tamaño de fruto post-poda dependerá de la carga fisiológica, es decir, el carbono total fijado por unidad de fruto. No obstante, los beneficios de la poda de verano sobre la longitud y número de brotes y la calidad de los frutos pueden o no ser evidentes debido a factores tales como la carga de fruta, la variedad y las condiciones ambientales en las que se aplica esta práctica. En olivo, la poda de verano no es una práctica común, aunque la eliminación del crecimiento superior de la copa de los setos de olivo (i.e. "topping") durante el verano antes de la cosecha mecánica se aplica cada vez más. En tanto, la poda mecánica de los laterales en verano podría ser adecuada como herramienta para controlar el tamaño de los árboles y el crecimiento vegetativo post-poda.

En especies leñosas, se supone generalmente que el aumento de la intensidad de la poda resultará en más crecimiento de brotes después del evento de poda (Mika, 1986). Por ejemplo, Zeng (2003) observó que incrementos en el área foliar removida por poda en *Ficus*, *Cinnamomum* y *Pinus* favoreció la partición de biomasa a hojas en los árboles podados generando similar área foliar a los árboles sin podar un año después de la poda. Adicionalmente, la elongación de los brotes nuevos en duraznero aumentó con la intensidad de poda de invierno cuando la poda se llevó a cabo durante tres años consecutivos (Siham *et al.*, 2005). En olivo, la información descriptiva sugiere que el crecimiento vegetativo posterior a la poda responde fuertemente a la intensidad de la poda (Gucci y Cantini, 2000), pero la cuantificación del número y la longitud de las ramas nuevas es necesaria durante varias temporadas de crecimiento para diseñar a largo plazo protocolos de poda en setos de alta densidad.

El carbono neto fijado por árboles enteros después de la poda depende probablemente de factores tales como la cantidad de área foliar removida, la fotosíntesis de las hojas restantes y la forma de la copa. En manzanos adultos, el carbono fijado y la transpiración del canopeo remanente disminuyó proporcionalmente con el área foliar removida (13-64%) después de una poda de verano. Esto permitió controlar el tamaño del árbol, mejorar la disponibilidad de luz para el desarrollo del color rojo de los frutos y reducir el consumo de agua mejorando el estado hídrico (Li *et al.*, 2003 a). La poda de las ramas bajas en los bosques manejados de *Eucalyptus* incrementó la tasa neta de asimilación de CO₂ de las ramas restantes después de una poda de invierno, y tal incremento se atribuyó a un aumento de la conductancia estomática (g_s) (Pinkard *et al.*, 1998; Pinkard, 2003; Medhurst *et al.*, 2006). Utilizando un enfoque de modelización en olivo, Fernández *et al.* (2008) han propuesto que la poda de olivos de una forma esférica a esferas truncadas (i.e., eliminando la parte superior de la copa) puede aumentar la ganancia neta de carbono del árbol pues aumentaría la proporción de hojas expuestas a la luz solar. Sin embargo, esto se vería afectado por las características fotosintéticas de las hojas remanentes expuestas a niveles de luz mayores, que probablemente están relacionados con la profundidad de la copa antes de la poda (Larbi *et al.*, 2015). A diferencia de lo que ocurre en especies forestales, en olivo con la poda mecánica se eliminan las hojas más expuestas y aclimatadas a elevados niveles de radiación, dejando expuestas hojas anteriormente adaptadas a condiciones de sombra.

Los estudios centrados en las respuestas cuantitativas de las especies de árboles frutales a la poda mecánica son escasos, aunque recientemente se han registrado avances significativos en vid sobre el mantenimiento del sistema de conducción a través de la poda mecánica utilizando maquinaria especializada (revisado por Poni *et al.*, 2016). En palto y olivo, los estudios de poda mecánica se limitan a hacer comparaciones entre los árboles podados y un control no podado o manualmente podado (Morris y Cawthon, 1981; Giametta y Zimbalatti, 1997; Thorp y Stowell, 2001; Poni *et al.*, 2004; Dias *et al.*, 2012). En este sentido, no existe información disponible en olivos sobre la intensidad o el momento de poda mecánica para mantener el tamaño de la copa sin afectar demasiado el rendimiento y sus componentes.

Por lo tanto, los objetivos del presente capítulo fueron: (1) cuantificar las respuestas de crecimiento vegetativo durante dos temporadas de crecimiento y los componentes del rendimiento durante tres estaciones tras diferentes intensidades y momentos de aplicación de la poda mecánica; y (2) evaluar algunas características morfológicas foliares y de intercambio gaseoso de las hojas remanentes después de la poda.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Sitio experimental y tratamientos de poda.

El experimento fue conducido durante tres estaciones de crecimiento desde agosto de 2009 hasta abril de 2012 en una finca comercial de olivo (*Olea europaea* L. var. “Arbequina”) ubicado a 20 km al norte de la ciudad de La Rioja, Argentina (latitud 29° 17' S, longitud 66° 45' W; 444 msnm). Los árboles tenían 5 años de edad al comienzo del experimento con una orientación de fila norte-sur (Imagen 2.1). El espaciamiento de los árboles fue de 6 m dentro de las filas y 8 m entre las filas (208 árboles ha⁻¹). El suelo era de textura franco arenoso con un perfil profundo y homogéneo.

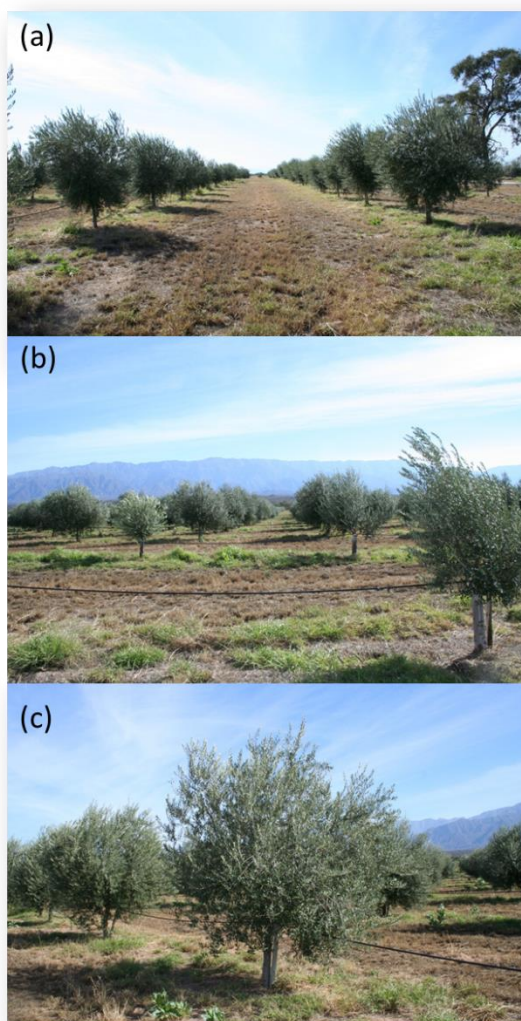


Imagen 2.1: Arreglo de las plantas en la finca. En (a) se observa la distancia libre entre filas y en (b) se muestra el tamaño promedio de las plantas seleccionadas para el experimento.

La finca se encontraba dentro de la región fitogeográfica del Chaco árido y el clima se caracteriza por inviernos bastantes suaves y secos y veranos muy calurosos con

lluvias torrenciales (Searles *et al.*, 2011). Durante el experimento, la evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio fue de 1700 mm año^{-1} . Los valores medios de ET_o diaria variaron entre 1.6 mm día^{-1} durante el invierno (promedio de julio 2010 y 2011) y 8.1 mm día^{-1} durante el verano (promedio de enero 2010 y 2011; Fig. 2.1 a). La temperatura media máxima diaria osciló entre 18.0 °C durante el invierno y 37.2 °C durante los meses de verano con temperaturas mínimas promedio entre 0.5 °C y 21.2 °C (Fig. 2.1 b). Las precipitaciones fueron de unos 340 mm año^{-1} y se concentraron principalmente en los meses de verano (Fig. 2.1 b).

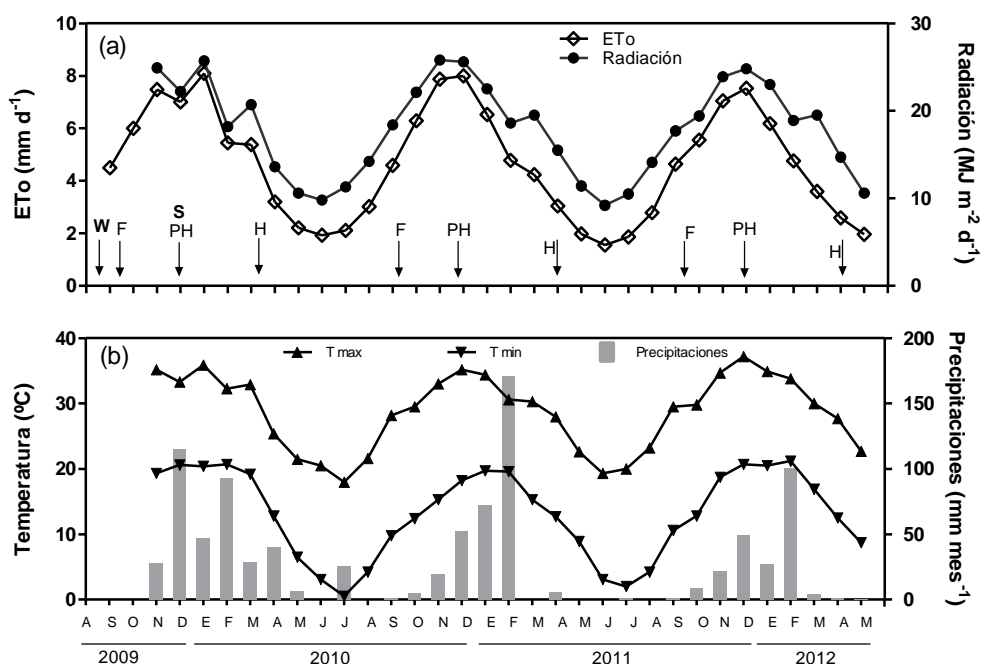


Figura 2.1: Evapotranspiración de referencia (ET_o) y radiación solar (a), temperatura máxima (T_{max}) y mínima (T_{min}), y precipitaciones (b) durante el experimento (agosto 2009-mayo 2012). Los valores de ET_o , radiación solar y temperatura son valores diarios promedio para cada mes, mientras que los valores de precipitaciones son totales mensuales (mm mes^{-1}). Las flechas indican las fechas de poda invernal (W) y de verano (S), floración (F), endurecimiento del hueso (PH) y cosecha (H) para cada año.

En este estudio utilizamos árboles bastante jóvenes de tamaño mediano para simular la poda mecánica debido a que las mediciones detalladas en setos muy grandes de 5 m. de altura cultivados con densidades arbóreas bajas ($200\text{-}400 \text{ árboles ha}^{-1}$) no son prácticas (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012), y las fincas de setos de alta densidad de árboles aún no estaban disponibles en nuestra región. Al inicio del estudio, previo a la poda, el diámetro y altura promedio de la copa fueron de 2.2 m. y 2.7 m., respectivamente. Las medidas de ancho de copa se realizaron cada 0.50 m. de altura sobre el nivel del suelo en las direcciones E-W y N-S para calcular el diámetro promedio de la copa. La profundidad del canopeo se definió como la altura del árbol menos la distancia de las hojas más bajas de la copa y el suelo. Se estimó que el volumen inicial de copa fue aproximadamente 7 m^3 antes de que se impusieran los tratamientos de poda. La estimación fue basada en la hipótesis de que la copa del árbol era de forma semiesférica

($V = \frac{2}{3} \pi r^2 H$) (Del Río *et al.*, 2005), siendo r el radio de la copa y H la profundidad del canopeo. La poda mecánica con discos es un sistema especialmente diseñado para su utilización en plantaciones en seto donde se conduce la forma del árbol hacia una estructura geométrica simple.

La poda se realizó en árboles individuales en un año "on" con carga frutal alta (> 3400 frutos m^{-3}) para este cultivar según Trentacoste *et al.* (2010). Se realizó el experimento con árboles "on" porque un estudio previo de poda bajo condiciones climáticas similares con árboles de baja producción (Cherbiy-Hoffman *et al.*, 2012) indicó que el crecimiento de ramas después de la poda era excesivo. Los árboles utilizados en este experimento no habían sido podados anteriormente a excepción de la eliminación de los chupones en la base del árbol. Los árboles vecinos no fueron podados debido a la distancia libre entre las copas de los árboles (3.7 m. dentro de la fila, 5.8 m. entre filas). Se evaluaron tres tratamientos de poda invernal (W) y una poda severa a principios de verano (S), junto con un control no podado (CON). La poda invernal fue realizada el 24 de agosto de 2009 cuando las yemas vegetativas se podían distinguir fácilmente de las reproductivas y la poda severa de verano se llevó a cabo el 1° de diciembre de 2009 cuando se comprobó el endurecimiento del endocarpio. Los tratamientos de poda de invierno y verano se implementaron usando tijeras podadoras manuales en los lados este y oeste de los árboles a diferentes distancias de la superficie externa de la copa. La poda de todas las ramas a una distancia determinada simuló la técnica de poda mecánica del disco ("heading cut") que es cada vez más común en muchos olivares comerciales. Las distancias desde la superficie externa de la copa fueron 0.25 (25W), 0.50 (50W) y 0.75 m. (75W) para los tratamientos de poda de invierno y 0.75 m. (75S) para el tratamiento de poda de verano. Después de la poda, el diámetro promedio del árbol en la dirección este-oeste fue 1.70, 1.20 y 0.80 m. para las tres distancias de poda (Imagen 2.2). Los volúmenes de las copas de los árboles se recalcularon restando el volumen de la copa podada del volumen original. El volumen de la copa podada de cada lado del árbol se estimó como un sector esférico ($V = \frac{1}{3} \pi p^2 (3r - p)$), siendo r el radio de la copa y p la distancia de poda de la superficie externa de la copa. El "top" de los árboles no se podó en ninguno de los tratamientos durante el período experimental porque la altura (< 3.0 m.) de los árboles al inicio del experimento fue mucho menor que el máximo de 3.5 m. permitido por las cosechadoras cabalgantes (e.g., Colossus).

El diseño experimental fue un diseño de bloques completos al azar con seis bloques. Cada bloque estaba integrado por cinco árboles de los tratamientos de poda y un control sin poda. Así, se utilizaron 30 árboles durante el estudio de similar volumen de copa inicial asociados a una misma posición en el terreno. La biomasa eliminada por los diferentes tratamientos de poda se pesó en el campo utilizando una balanza portátil. Luego, doce ramas por árbol fueron llevadas al laboratorio en bolsas de plástico humidificadas para medir el diámetro de la rama en el punto de poda usando un calibre electrónico y para determinar por separado los pesos frescos y secos de los tallos, hojas y frutos de cada rama. El material vegetativo se secó a 75 °C en un horno de aire forzado hasta que se alcanzó un peso constante. El área foliar por rama se estimó a partir del peso de un disco de hoja tomado con una perforadora y el peso total de las hojas.

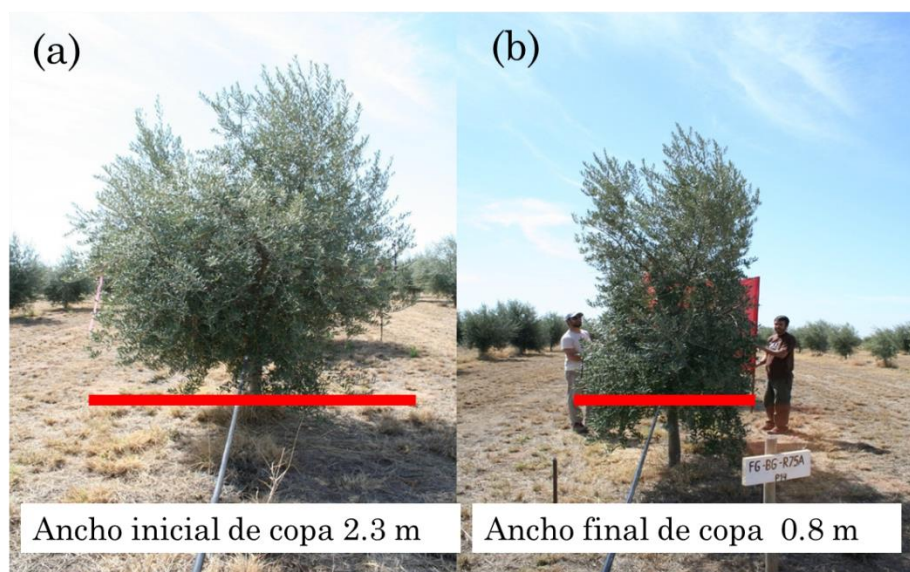


Imagen 2.2: Forma y ancho inicial del árbol (a) y el ancho luego de aplicada la poda mecánica 75W en los laterales este y oeste (b).

Todos los árboles fueron regados para satisfacer el 100% de sus requerimientos de evapotranspiración de cultivo utilizando un coeficiente de cultivo (K_c) de 0.7 durante la temporada de crecimiento y un K_c de 0.4 durante los meses de invierno (Rousseaux *et al.*, 2009). Los niveles de riego se ajustaron al tamaño de copa de cada tratamiento podado y el control mediante el cálculo de un coeficiente de reducción (K_r) que representaba la superficie del suelo sombreada por la copa del árbol (Feres y Castel, 1981). El valor K_r del control fue 0.30 el primer año del experimento y 0.40 el segundo. Los valores de K_r de los tratamientos podados (25W, 50W, 75W, 75S) fueron 0.27, 0.22, 0.19 y 0.19 durante el primer año, respectivamente. Estos valores aumentaron a 0.37, 0.31, 0.33 y 0.29 en el segundo año. La cantidad requerida de riego por tratamiento se obtuvo empleando diferentes combinaciones de cuatro goteros por árbol con diferentes tasas de goteo (2 a 4 $l\ h^{-1}$).

2.2.2. Crecimiento del tronco y brotes.

Las mediciones de crecimiento del tronco fueron realizadas durante la estación de crecimiento de la poda (Año 1) y la estación de crecimiento post-poda (2010-11, Año 2). La circunferencia del tronco fue medida cada 45 días, a 30 cm de altura desde el suelo usando una cinta métrica flexible. El incremento acumulado del área seccional del tronco (TCSA) fue calculado a partir de las mediciones de circunferencia del tronco para los Años 1 y 2, utilizando la ecuación $TCSA = \pi r^2$, donde r es el radio del tronco.

Sobre las caras podadas se seleccionaron 12 puntos de cortes o ramas base (base branch, BB) para cuantificar el crecimiento vegetativo (Imagen 2.3). El término BB se refiere a la estructura subyacente de soporte leñosa justo debajo del punto de poda. Las BB seleccionadas se distribuyeron 6 por lado podado (i.e., este y oeste) seleccionando tres ramas a dos alturas (1 y 2 m sobre el suelo). En los árboles de control se seleccionaron 12 ramas iluminadas en la parte exterior del dosel cuyos diámetros en su base eran

similares a los de las ramas base de 25W. El número de nuevas ramas, longitud de rama y número de hojas asociadas con la BB (i.e. rama principal y sus ramificaciones; ver Fig. 3.1 en el Capítulo III) y las ramas de control marcadas se determinaron en la primera y segunda temporadas de crecimiento. Las fechas de medición coincidieron con el final del reposo invernal (agosto), inicio de la síntesis activa de aceite (noviembre), mediados del verano (febrero) y post-cosecha cuando el crecimiento vegetativo fue mínimo (abril). Para el tratamiento 75S, las primeras mediciones se realizaron en febrero de 2010. La longitud total se calculó como la sumatoria del largo de todas las ramas nuevas y ramificaciones por BB.



Imagen 2.3. Puntos de cortes que definen las BB (Base branch, flechas negras) sobre los cuales se cuantificó el número, longitud y número de hojas de las ramas nuevas (flechas rojas) generados luego de la poda mecánica.

2.2.3. Rendimiento y sus componentes

A cosecha, se determinó el rendimiento de fruta fresca por árbol, número de frutos por árbol, peso seco por fruto, rendimiento de aceite por árbol y contenido de aceite por fruto. Los árboles fueron cosechados manualmente el 26 de marzo (Año 1), el 14 de abril (Año 2) y el 28 de marzo (Año 3) cuando la observación visual indicó que los frutos estaban en la etapa de envero. El envero se utilizó para aproximar la fecha de máxima concentración de aceite por fruto (Beltrán *et al.*, 2004). A partir del rendimiento de fruta fresca de cada árbol (kg árbol^{-1}), se llevó una muestra de 2 kg al laboratorio en un refrigerador donde se determinó el peso fresco de una sub-muestra de 100 frutos. Luego, la fruta se secó en un horno durante 6 días a 70 °C, y el peso individual de los frutos se calculó sobre una base de peso fresco y seco. El número total de frutos por árbol se estimó dividiendo el peso total de fruta fresca por árbol por el peso promedio individual de fruta fresca. El índice de madurez de la fruta (IM) se determinó en otra sub-muestra de 100

frutos clasificando el fruto de 0-7 según el color de la piel y la pulpa. El IM fue aproximadamente consistente con la observación visual del fruto que estaba en el estado de envero (i.e., IM de 2 o 3) con el promedio de IM de 2.5, 3.7 y 3.7 para los Años 1, 2 y 3; respectivamente. No se observaron diferencias en IM entre los tratamientos de poda y el control. El resto de la fruta muestreada (aproximadamente 1 kg) se molió en un molino de martillos y se determinó la concentración de aceite. La concentración de aceite (%) de la pasta seca se determinó mediante un equipo de resonancia magnética (SLK AC-100, Spinlock SRL, Córdoba, Argentina) en los Años 1 y 2 y por extracción con hexano durante 6 horas con un aparato Soxhlet en el Año 3. El contenido de aceite de la fruta se calculó sobre la base del peso seco individual de la fruta y la concentración de aceite de fruta (%). El rendimiento de aceite por árbol (kg árbol^{-1}) fue una función del rendimiento de frutos por árbol y la concentración de aceite.

2.2.4. Fotosíntesis foliar máxima y conductancia estomática después de la poda invernal

Se midió la tasa fotosintética neta máxima de la hoja (A) en dos hojas completamente expandidas por árbol posicionadas en la superficie externa de la copa un mes después de la poda de invierno (24 de septiembre de 2009) utilizando un sistema portátil de intercambio de gases (CID Inc., modelo CI-310, Vancouver, WA, EE.UU.). El número de hojas medido por árbol fue reducido con el fin de no introducir variabilidad en las mediciones debido a cambios en las condiciones ambientales (i.e., radiación solar, temperatura, déficit de presión de vapor) producto de extender el tiempo de medición para una secuencia de mediciones efectuadas en un mismo día. La densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) en la cámara de la hoja fue de $1300\text{-}1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ utilizando iluminación natural en el momento de las mediciones (10-12 tiempo solar) en las hojas orientales. El flujo de aire en la cámara de hojas fue de 0.4 l min^{-1} y la temperatura del aire se mantuvo a no más de 3°C por encima de la temperatura ambiente debido a un sistema de refrigeración Peltier en la base de la cámara de hojas. Las hojas medidas fueron recogidas y transportadas al laboratorio en bolsas herméticas para la determinación del área foliar y de la masa foliar específica (SLM). Simultáneamente en el mismo lado de árbol, la conductancia estomática (g_s) se determinó en hojas similares utilizando un porómetro de difusión (Delta-T Devices Ltd, modelo AP4, Cambridge, Reino Unido).

2.2.5. Análisis estadísticos de los datos

El crecimiento de las ramas, el TCSA, el rendimiento y sus componentes se analizaron con modelos lineales generales de ANOVA para medidas repetidas en tiempo debido a que las mediciones se realizaron sobre las mismas unidades experimentales (i.e., árboles) en múltiples fechas y años. Las diferencias entre las medias ($p < 0.05$) se evaluaron mediante el test LSD. TCSA, el número total de nuevas ramas, la longitud total de nuevas ramas y el número total de hojas en las nuevas ramas se transformaron para satisfacer los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza usando transformaciones apropiadas incluyendo $\ln(y + 1)$, \sqrt{y} y *arco coseno*. Los análisis anteriores se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014). Adicionalmente, se ajustaron regresiones lineales simples a las relaciones entre el crecimiento de las ramas o rendimiento y sus componentes y el área foliar removida (AFR) en los momentos de poda de invierno y verano utilizando GraphPad Prism 5

(GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EUA). Por último, se utilizó el análisis multivariado de componentes principales para examinar las relaciones al final de la temporada de crecimiento entre las variables vegetativas y de rendimiento con el tratamiento de poda y el momento de poda (invierno o verano). Para las variables de crecimiento vegetativo se utilizó la última fecha de medición de los Años 1 y 2 (i.e. septiembre de 2010 y 2011, ver Fig. 2.4). Y para TCSA se utilizó las mediciones de agosto de 2010 y 2011 para los Años 1 y 2 respectivamente (ver Fig. 2.3).

2.3. Resultados

2.3.1. Biomasa removida por los tratamientos de poda

El peso seco de las ramas y hojas eliminadas con la poda aumentó significativamente con la intensidad de la poda de invierno (Fig. 2.2). En contraste, no se observaron diferencias entre los tratamientos severos de poda de invierno (75W) y de verano (75S) cuando sólo se consideraron el peso de ramas y hojas. La inclusión de la fruta para el tratamiento con 75S condujo a una eliminación adicional de 1.7 ± 0.14 kg por árbol en base al peso seco. La biomasa eliminada por poda representó 6, 21 y 40% del volumen de copa para los tratamientos 25W, 50W y 75W-75S.

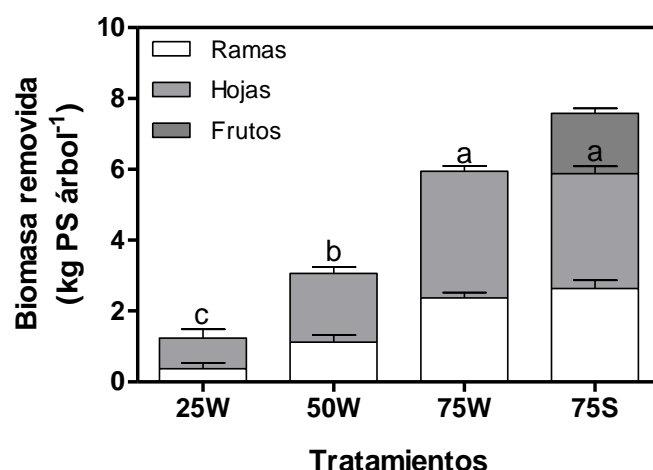


Figura 2.2: Peso seco de las ramas, hojas y frutos eliminados por los tratamientos de poda de invierno (25W, 50W y 75W) y de verano (75S). Los números 25, 50 y 75 en las abreviaturas de tratamiento indican el ancho (cm) eliminada mediante la poda de la superficie exterior de la cubierta. Los frutos sólo estaban presentes en el material podado de verano. Cada barra representa el promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) para la suma de ramas + hojas.

2.3.2. Crecimiento de tronco y brotes

El TCSA aumentó en todos los tratamientos durante la temporada de crecimiento de los Años 1 y 2 (Fig. 2.3). En promedio, TCSA aumentó 12.8 cm^2 durante el Año 1, aunque no se observaron diferencias significativas entre el control y los tratamientos de poda (Fig. 2.3 a). En el Año 2, TCSA aumentó 22.4 cm^2 en el control, lo que

aproximadamente dobló el aumento de TCSA de los diversos tratamientos de poda ($p < 0.05$, Fig. 2.3 b).

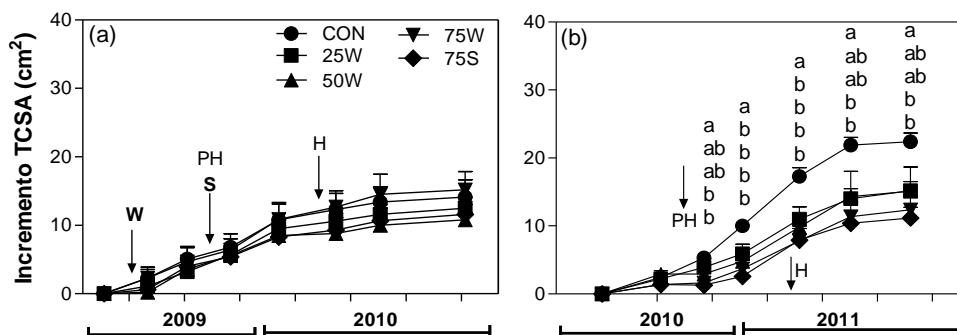


Figura 2.3: Patrones estacionales del incremento del área seccional-transversal del tronco (TCSA) en el Año 1 (a) y el Año 2 cuando no hubo poda (b). Los tratamientos de poda fueron CON (●), 25W (■), 50W (▲), 75W (▼) y 75S (◆). Las flechas indican las fechas de poda de invierno (W), poda de verano (S), del endurecimiento del hueso (PH) y de la cosecha (H). Cada punto representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras por encima de los puntos para cada fecha de medición indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

El número de nuevas ramas por BB, así como su longitud total y número total de hojas aumentó con la intensidad de poda en los Años 1 y 2 (Fig. 2.4). A medida que avanzaba la estación de crecimiento, las diferencias entre los tratamientos de invierno más podados (50W, 75W) se hicieron evidentes para todas las variables medidas en comparación con el tratamiento de invierno levemente podado (25W), el tratamiento de poda de verano (75S) y el control en los Años 1 y 2. El comportamiento de los árboles podados severamente en el verano (75S) fue similar al tratamiento control y los podados ligeramente en el invierno (25W) en las tres variables observadas. El crecimiento fue mayor en el Año 2 que en Año 1 en los tratamientos de poda 50W y 75W, donde las ramas nuevas alcanzaron 150 cm de longitud por BB en el Año 2 y alrededor de 100 cm por BB en el Año 1 (Fig. 2.4 c, d).

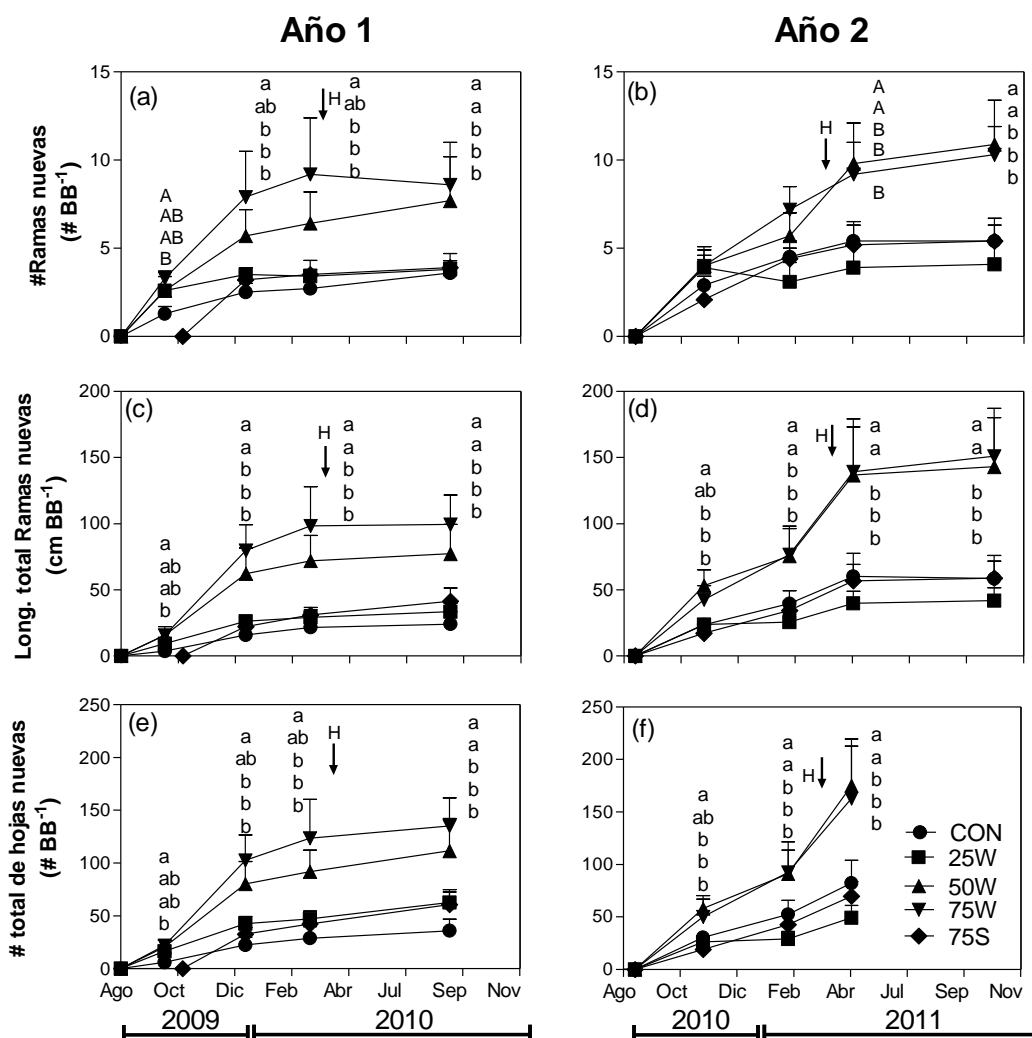


Figura 2.4: Número total de ramas nuevas (a y b), longitud total de ramas nuevas (c y d), y número total de hojas nuevas originados por rama base (BB; e y f) generadas en el Año 1 (paneles de la izquierda) y el Año 2 cuando no hubo poda (paneles de la derecha). Los tratamientos fueron CON (●), 25W (■), 50W (▲), 75W (▼) y 75S (◆). Las flechas indican el momento de cosecha (H). Cada punto representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las letras por encima de los puntos para cada fecha de medición indican diferencias significativas entre tratamientos (letras minúsculas para $p < 0.05$, letras mayúsculas para $p < 0.1$).

2.3.3. Rendimiento y sus componentes

Excepto por una disminución en el número de frutos por árbol en el tratamiento de poda de verano (75S), los promedios trianuales de rendimiento y sus componentes no fueron afectados significativamente por los tratamientos de poda (Cuadro 2.1). Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento durante los tres años (Cuadro 2.1), la reducción en el número de frutos contribuyó al rendimiento mostrando una tendencia a disminuir (-25%) en la poda de verano. El número de frutos más bajo en el tratamiento de poda 75S en relación con 75W en el Año 1 parecía estar relacionado con un mayor porcentaje de cuaje en los laterales no podados norte y sur (datos no presentados). Adicionalmente, hubo interacciones significativas para el rendimiento y

todos sus componentes entre la poda y el año (Cuadro 2.1; Fig. 2.5). Por ejemplo, el patrón de producción de frutos en los árboles control mostró una alta producción en el Año 1, un bajo rendimiento en el Año 2 y un rendimiento bastante alto en el Año 3 (Fig. 2.5 a). Tanto los tratamientos de poda severa de invierno (75W) como los de verano (75S), que tenían un 40% del volumen de la copa del árbol eliminado en el Año 1, mostraron un patrón de rendimiento inverso al del control. El rendimiento de aceite mostró un patrón similar, pero menos pronunciado (Fig. 2.5 b).

También se observó interacciones entre los tratamientos de poda y año de medición para el peso seco y el contenido de aceite por fruto. Ambas variables fueron significativamente mayores en los tratamientos de poda 75W y 75S en el Año 1 que el control sin poda (Fig. 2.5 d, e), posiblemente debido a la tendencia del número de frutos a ser más bajos en esos árboles (Fig. 2.5 c). Sin embargo, el peso de los frutos y el contenido de aceite fueron significativamente más bajos en los tratamientos severamente podados que el control en el Año 2. En el Año 3, hubo una vez más una tendencia a que el peso de los frutos y el contenido de aceite fueran más altos en los árboles 75W y 75S. La concentración de aceite (% de peso seco de los frutos) no mostró ninguna diferencia entre los tratamientos de poda incluyendo el control para ninguno de los tres años (datos no presentados).

Cuadro 2.1: Análisis de medidas repetidas en el tiempo de los efectos de los tratamientos de poda (intensidad y momento) sobre el rendimiento y sus componentes medidos en el Año 1, 2 y 3. Los promedios trianuales de rendimiento y sus componentes se muestran \pm un error estándar para cada tratamiento de poda y el control. El promedio para cada año \pm un error estándar se muestra debajo. Diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de poda o el año.

Factores	Rendimiento (kg árbol ⁻¹)	Rendimiento aceite (kg árbol ⁻¹)	#Frutos	PS fruto ⁻¹ (g)	Aceite fruto ⁻¹ (g)
Poda					
CON	20.31 \pm 2.5 a	2.51 \pm 0.30 a	12461 \pm 2043 a	0.75 \pm 0.05 a	0.26 \pm 0.03 a
25W	20.04 \pm 2.6 a	2.84 \pm 0.42 a	12836 \pm 2258 a	0.76 \pm 0.05 a	0.26 \pm 0.02 a
50W	19.35 \pm 1.8 a	2.65 \pm 0.32 a	12408 \pm 1837 a	0.74 \pm 0.05 a	0.26 \pm 0.02 a
75W	22.72 \pm 2.6 a	3.13 \pm 0.36 a	13520 \pm 1760 a	0.71 \pm 0.03 a	0.26 \pm 0.02 a
75S	15.42 \pm 1.7 a	2.15 \pm 0.31a	8546 \pm 1134 b	0.76 \pm 0.04 a	0.27 \pm 0.02 a
Año					
1	20.26 \pm 0.9 a	2.83 \pm 0.19 a	18673 \pm 1187 a	0.54 \pm 0.01 b	0.16 \pm 0.00 c
2	21.54 \pm 1.8 a	3.27 \pm 0.29 a	9897 \pm 1101 b	0.85 \pm 0.02 a	0.36 \pm 0.01 a
3	16.91 \pm 2.2 a	1.87 \pm 0.24 b	7293 \pm 1011 c	0.86 \pm 0.02 a	0.27 \pm 0.01 b
valor P					
Poda	0.32	0.36	0.03	0.34	0.35
Año	0.17	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.005
Poda x Año	0.006	0.02	0.006	0.002	0.002

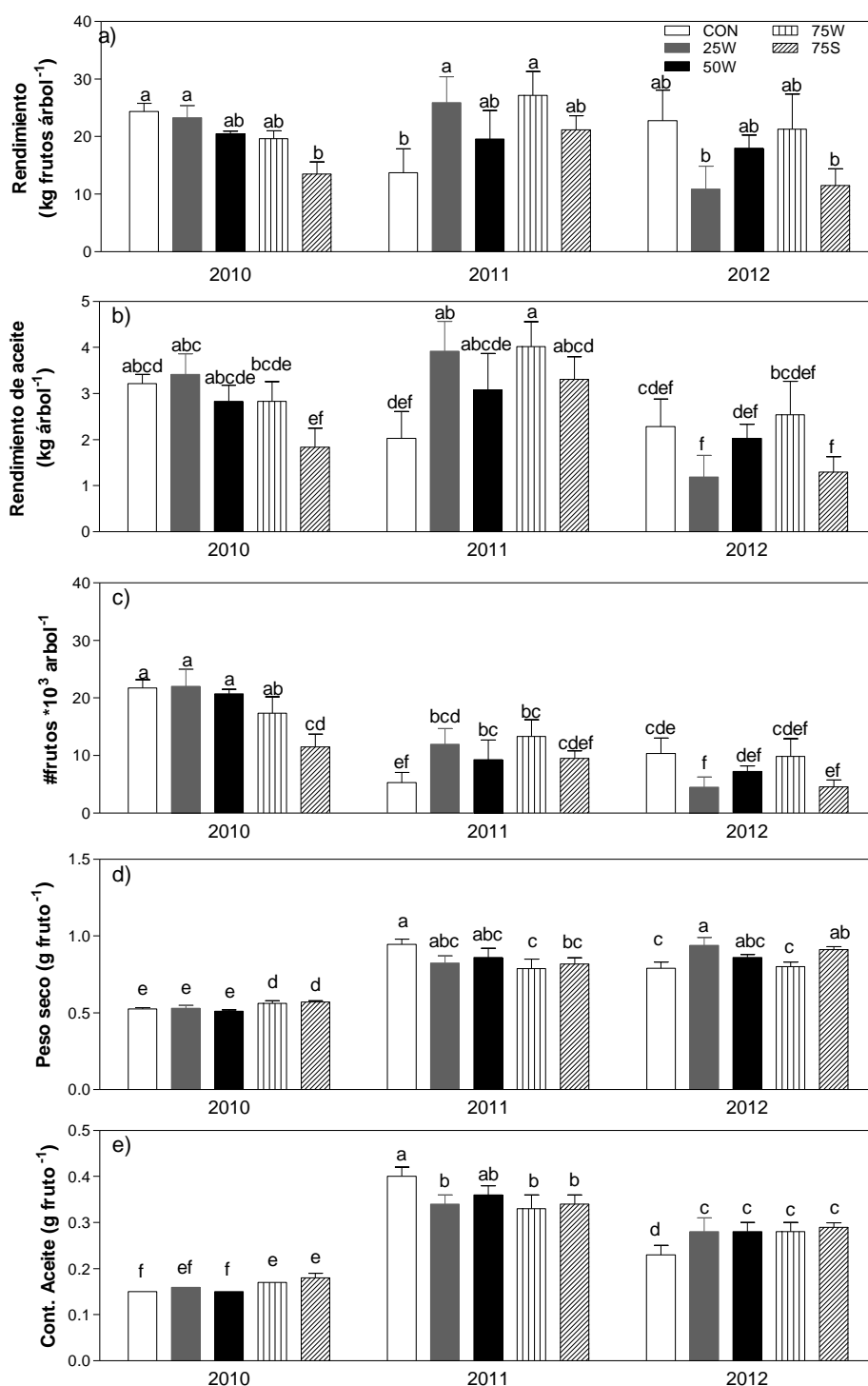


Figura 2.5: Rendimiento de fruta fresca (a), rendimiento de aceite (b), número de frutos (c), peso seco de fruto (d), y contenido de aceite por fruto (e) medidos en el Año 1 cuando se realizaron podas de invierno (W) y de verano (S) y los Años 2 y 3 cuando no se aplicó poda. Cada barra representa un promedio \pm un error estándar ($n = 6$ árboles por tratamiento). Las diferentes letras situadas por encima de las barras indican diferencias significativas entre los tratamientos en un año dado y entre los años ($p < 0.05$).

2.3.4. Relaciones entre el área foliar removida por poda y el posterior crecimiento de las ramas y rendimiento

Para evaluar el potencial de predecir el crecimiento vegetativo y el rendimiento en el año en que se realizó la poda, se utilizaron regresiones lineales. Las regresiones lineales del Año 1 mostraron que el número de nuevas ramas por BB, así como su longitud total y el número de hojas aumentaron significativamente con la cantidad de área foliar removida (AFR) por la poda de invierno (Cuadro 2.2). Por cada 1.0 m² de AFR, la longitud total de la rama aumentó 3.4 cm por BB y el número de hojas aumentó en 4.6. El crecimiento vegetativo del tratamiento de poda de verano (75S) no respondió fuertemente a la poda y, por lo tanto, no se incluyó en las ecuaciones de regresión del crecimiento de ramas.

En contraste con el crecimiento de las ramas, el rendimiento por árbol y el número de frutos por árbol en el Año 1 disminuyeron significativamente con el AFR por la poda al incluir los tratamientos de poda de invierno y verano (Cuadro 2.2). Por cada 1 m² de AFR, la producción de frutos disminuyó 0.45 kg árbol⁻¹ y el número de frutos disminuyó 458 frutos árbol⁻¹. El PS de frutos y el contenido de aceite de los frutos aumentaron significativamente con el aumento del AFR como se podría esperar debido a la compensación parcial por el bajo número de frutos por árbol.

Cuadro 2.2: Regresiones lineales ajustadas entre las variables de crecimiento vegetativo, rendimiento y sus componentes y área foliar removida (AFR, m²) durante el Año 1. Las regresiones de crecimiento vegetativo no incluyen los datos de poda de verano (75S), mientras que las regresiones de rendimiento y sus componentes incluyen todos los tratamientos de poda. Todos los coeficientes de regresión son significativas ($p < 0.05$).

	Modelo Ajustado	r ²
Número de ramas nuevas	$Y = 3.5 + 0.19 \text{ (AFR)}$	0.31
Longitud total de ramas nuevas	$Y = 25 + 3.4 \text{ (AFR)}$	0.57
Número total de hojas nuevas	$Y = 42.5 + 4.6 \text{ (AFR)}$	0.55
Rendimiento de frutos	$Y = 24.2 - 0.45 \text{ (AFR)}$	0.35
Número de frutos	$Y = 22620 - 458 \text{ (AFR)}$	0.25
Peso seco fruto	$Y = 0.52 + 0.0032 \text{ (AFR)}$	0.29
Contenido de aceite	$Y = 0.15 + 0.0012 \text{ (AFR)}$	0.37

2.3.5. Análisis por Componentes Principales

El análisis por componentes principales (ACP; Kenkel et al., 2002) permitió explorar las relaciones entre el rendimiento y sus componentes y las variables asociadas al crecimiento vegetativo con los tratamientos de poda para los Años 1 y 2 (Fig. 2.6). Los primeros dos componentes principales (CP1 y CP2) del biplot generado explicaron el 76 % de la varianza total: 43.2 % en el componente principal 1 (CP1) y 33 % en el componente principal 2 (CP2). Las variables que presentaron altos coeficientes de correlación positiva para CP1 fueron el contenido de aceite por fruto y el PS de los frutos, así como las tres variables asociadas con las ramas nuevas por BB (número total de ramas,

longitud y número de hojas). En cambio, el número de frutos por árbol tenía un coeficiente negativo para CP1. Teniendo en cuenta la longitud y las trayectorias de los vectores, los tratamientos 50W y 75W que mostraron un crecimiento elevado de ramas nuevas (especialmente en el Año 2) también tuvieron una fruta más grande con mayor contenido de aceite pero menos fruta por árbol.

Las variables que presentaron coeficientes de correlación positivos altos para el CP2 fueron el rendimiento de aceite y frutos por árbol y el número de frutos, mientras que el incremento en TCSA mostró un coeficiente negativo. Esto indica que el rendimiento y el número de frutos estaban positivamente relacionados y que ambas variables estaban inversamente relacionadas con TCSA. En el Año 2, la variabilidad asociada con el tratamiento control estuvo fuertemente relacionada con TCSA, y el rendimiento en los árboles de control fue bajo.

Cuadro 2.3. Coeficientes de correlación de los componentes principales (CP1 y CP2) para las diferentes variables de crecimiento vegetativo y rendimiento. Los coeficientes de correlación en negrita (> al 60 % en valor absoluto) se consideraron en la interpretación de los componentes principales.

Variables	PC1 (43.2%)	PC2 (33%)
Rendimiento	-0.00078	0.79
# Frutos	-0.73	0.6
PS fruto	0.84	-0.38
Aceite fruto ⁻¹	0.85	-0.32
Aceite árbol ⁻¹	0.17	0.74
#Ramas Total	0.73	0.48
Long. Total	0.80	0.47
#Hojas Total	0.75	0.58
TCSA	0.39	-0.65

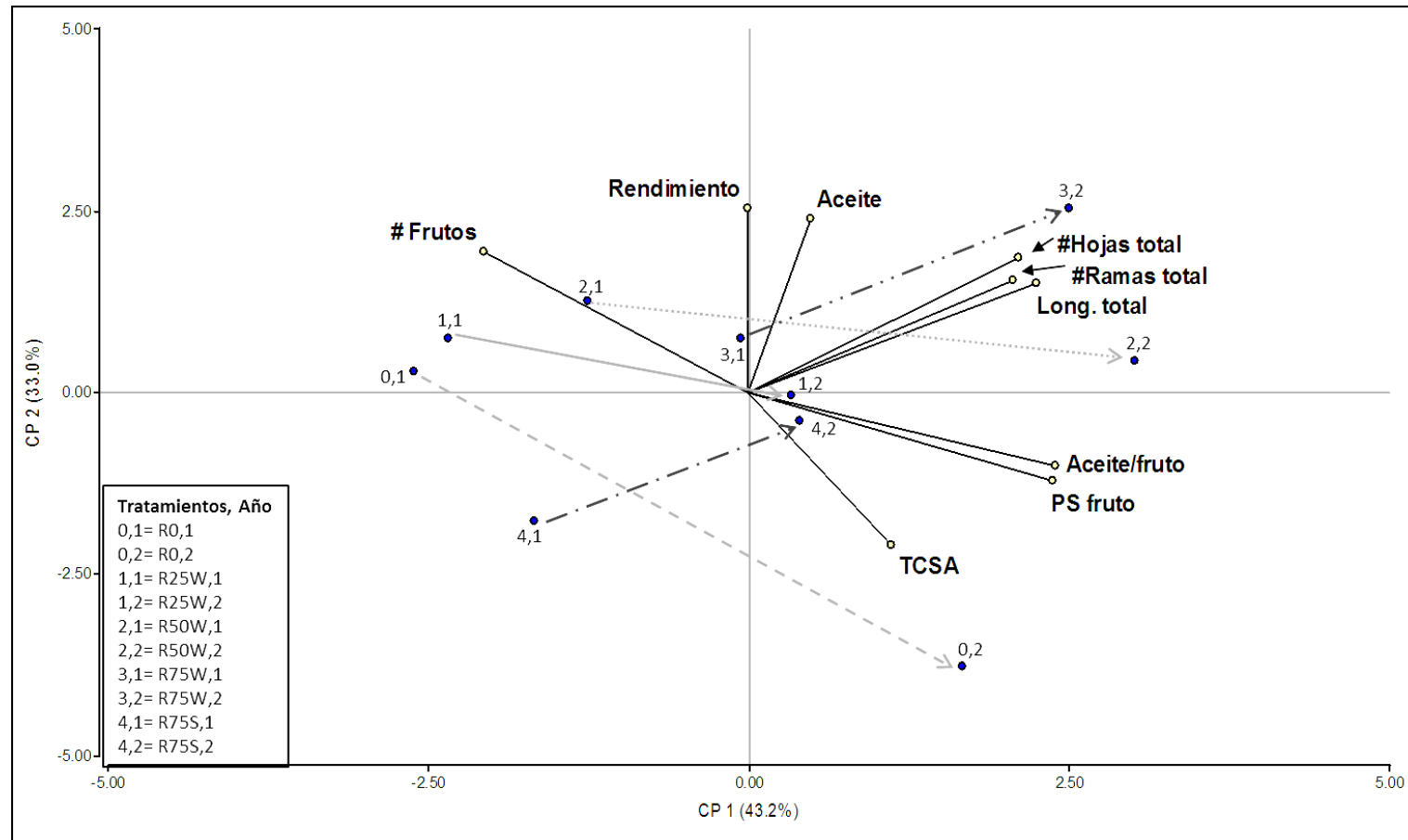


Figura 2.6. Biplot del análisis de componentes principales de los efectos de los tratamientos de poda y año para los Años 1 y 2 (Año 1=año on y Año 2= año off). El análisis no incluyó datos del Año 3 porque el crecimiento vegetativo se midió sólo en los años 1 y 2. Cada punto representa el promedio de una combinación de tratamiento de poda y año ($n = 6$ árboles por tratamiento). Los códigos para las combinaciones de tratamiento de poda y año se muestran en el cuadrante inferior izquierdo. Las flechas indican las trayectorias entre años en el espacio biplot para cada tratamiento de poda.

2.3.6. Efecto de la poda de invierno sobre la masa foliar específica y el intercambio gaseoso.

Consistente con el sombreado previo dentro del árbol, la masa foliar específica en la superficie exterior de la copa después de la poda disminuyó constantemente a medida que la intensidad de la poda de invierno aumentó (Cuadro 2.4). La tasa fotosintética neta de la hoja (A) por unidad de masa aumentó con la intensidad de poda, y las hojas de los tratamientos de poda 50W y 75W tuvieron valores más altos de A que las hojas del control no podadas. No se observaron diferencias significativas cuando se expresó A por unidad de área foliar. Las hojas de los tratamientos de poda 50W y 75W también mostraron mayor transpiración (E) por unidad de masa y cierta tendencia marginal por unidad de área foliar. Del mismo modo, g_s resultó mayor en las hojas de 75W que en las hojas del tratamiento control (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4: Masa foliar específica (SLM), fotosíntesis neta (A), transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua (WUE) medidos un mes después de la poda de invierno en el Año1. Cada valor representa el promedio \pm un error estándar ($n = 4$ árboles por tratamiento). Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre los tratamientos (letras minúsculas para $p < 0.05$, letras mayúsculas para $p < 0.1$).

Variables	CON	25W	50W	75W
SLM (g m^{-2})	293 \pm 12 a	261 \pm 16 b	223 \pm 13 c	193 \pm 7 d
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	0.10 \pm 0.01 b	0.13 \pm 0.02 ab	0.15 \pm 0.01 a	0.17 \pm 0.01 a
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	27.9 \pm 2.7	31.8 \pm 2.9	33.2 \pm 0.9	32.4 \pm 1.8
E ($\text{mmol g}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	0.013 \pm 0.02 c	0.019 \pm 0.04 bc	0.023 \pm 0.04 ab	0.026 \pm 0.02 a
E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3.71 \pm 0.52 B	4.68 \pm 0.59 AB	4.90 \pm 0.71 AB	4.95 \pm 0.28 A
g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	228 \pm 30 b	256 \pm 43 ab	254 \pm 12 ab	278 \pm 36 a
WUE	7.96 \pm 1.1	6.94 \pm 0.3	7.34 \pm 1.2	6.68 \pm 0.6

2.4. Discusión

La poda mecánica de los olivos, o la combinación de la poda mecánica con intervenciones manuales, se ha vuelto más común en los últimos años debido al aumento de los costos de mano de obra y al incremento en la densidad de árboles por hectárea (Rius y Lacarte, 2010; Connor *et al.*, 2014; Vivaldi *et al.*, 2015). El presente estudio abordó el impacto de la poda mecánica sobre el rebrote vegetativo durante dos años y el rendimiento durante tres años. Con el objetivo de reducir el crecimiento vegetativo después de la poda, la poda se realizó en un año de alta carga de frutos en el cultivar (Arbequina) considerado de vigor bajo a medio en su lugar de origen en la Cuenca Mediterránea (IOC, 2000; Rosati *et al.*, 2013). Sin embargo, en nuestra región es una práctica común realizar podas severas en árboles adultos con baja carga de frutos a pesar que a la luz de mis resultados no sería la recomendación de manejo más apropiada.

A pesar de las cargas de fruta bastante altas, los tratamientos de poda de invierno moderados (50W) y severos (75W) se asociaron con altos niveles de ramas nuevas y

longitud total de ramas en el Año 1 bajo condiciones climáticas cálidas en el noroeste argentino (Fig. 2.4). También pueden ocurrir aumentos significativos en el crecimiento vegetativo en respuesta a la poda en otras especies de árboles frutales como en manzano, aunque esta respuesta está condicionada al cultivar y tipo de conducción del mismo (Stephan et al., 2007; Bussi *et al.*, 2011). En el Año 2, en el cual no se realizaron podas, el crecimiento de las ramas se mantuvo alto en estos árboles podados con más de 150 cm de ramas nuevas producida por BB. Esta respuesta puede haber ocurrido debido a los cambios en la partición de carbono en respuesta a la poda y/o cambios a largo plazo en los niveles hormonales relacionados con la eliminación de los ápices de la rama (i.e., heading cuts) con la poda mecánica (Mika, 1986).

La alternancia productiva ocurre a menudo en los árboles de olivo con un año de alta carga de fruta (año "on") seguido de un año de baja carga de fruta (año "off") (Morettini, 1972; Monselise y Goldschmidt, 1982; Lavee, 2007). El Año 1 fue un año "on" en los árboles control sin poda con elevado número de frutos y rendimiento (Fig. 2.5), mientras que sus valores disminuyeron algo con la intensidad de poda de invierno como era de esperar al eliminar sitios potenciales de fructificación mediante podas no selectivas (e.g., Kumar *et al.*, 2010). En los Años 2 y 3, el número de frutos y el rendimiento en los árboles sin podar se vieron influenciados por la carga de frutos del año anterior con un cierto equilibrio entre el número y el peso de los frutos y el contenido de aceite (Fig. 2.5 y 2.6). Hay indicios de que el crecimiento vegetativo de los árboles control sin podar también estaba regulado por la carga de frutos como se ha visto en estudios previos (e.g., Dag *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2015). Tanto el crecimiento del tronco como el de las ramas (Fig. 2.3 y 2.4) fueron menores en los árboles sin podar en el año de alta carga de frutos (Año 1) que en el año de baja carga (Año 2) como se esperaría debido a las limitaciones de fotoasimilados. Sin embargo, los árboles podados moderadamente (50W) y severamente (75W) mostraron mayor crecimiento de ramas en el Año 2 a pesar de que el rendimiento fue mayor que en el Año 1. Curiosamente, el excesivo crecimiento de ramas en los árboles podados en el Año 2 no condujo a un aumento en el número de frutos en el Año 3. Este resultado podría estar relacionado con altos niveles de giberelinas que inhiben la inducción floral en estas ramas juveniles de rápido crecimiento (revisado por Bangerth, 2009), y muestra que el rendimiento es difícil de predecir después de una poda mecánica si se basa únicamente en el crecimiento vegetativo.

A pesar de las diferencias en el rendimiento en años individuales entre el control y los tratamientos de poda de invierno, el rendimiento promedio durante los tres años posteriores al evento de poda fue similar entre todos los árboles (Cuadro 2.1). Utilizando una combinación de poda mecánica y manual anual, Vivaldi et al. (2015) tampoco informaron reducciones en el rendimiento durante tres años para "Arbequina" en setos súper intensivos. Este estudio y el de Vivaldi et al. (2015) emplearon árboles de edad (5 o 6 años al comienzo del experimento) con un ancho inicial de la copa (aproximadamente 2 m) similar. Aunque el rendimiento fue siempre bastante alto en el presente estudio, las fluctuaciones del rendimiento fueron menores en 50W que en el resto de los tratamientos de poda y el control sin podar (Fig. 2.5 y 2.6). Por lo tanto, la eliminación de los 50 centímetros más externos de la copa en un Año "on" podría utilizarse tanto para controlar el tamaño del árbol como para reducir parcialmente la alternancia productiva. La eliminación de 50 cm de la copa al inicio del experimento fue equivalente a 3 kg de biomasa podada por árbol (Fig. 2.2). En Vivaldi et al. (2015), 2 kg por árbol fueron

podados mecánicamente en el primer y tercer año con casi ninguna poda mecánica en el segundo año.

El momento de poda influyó fuertemente sobre el crecimiento vegetativo. Al retrasar la poda hasta el inicio del verano (75S), el crecimiento de nuevas ramas fue similar al control y muy inferior al crecimiento observado con la misma intensidad de poda hacia el final del invierno (75W, Fig. 2.4). Similar a lo reportado para vid (Friend y Trought, 2007), retrasar la poda al verano se asoció a un retraso en la fecha de brotación que repercutió sobre el número de nuevas ramificaciones. Esto sugiere que la poda de verano sería un momento apropiado para remover el top de la copa que excede las dimensiones mecánicas de las cosechadoras cabalgantes y evitar un crecimiento vigoroso que a menudo es improductivo (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012).

Por el contrario, la poda mecánica de los laterales puede no ser beneficiosa en el verano debido a las reducciones potenciales del rendimiento. El número de frutos por árbol en el Año 1 se redujo un 45% y un 34% en comparación con el control y el tratamiento de poda 75W; respectivamente, y el número de frutos promedio de tres años fue significativamente menor en 75S que en el control y en los árboles con poda de invierno ($p < 0.03$, Cuadro 2.1). Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento durante los tres años (Cuadro 2.1), la reducción en el número de frutos contribuyó al rendimiento mostrando una tendencia a disminuir (-25%) en la poda de verano. El número de frutos más bajo en el tratamiento de poda 75S en relación con 75W en el Año 1 parecía estar relacionado con un mayor porcentaje de cuaje en los laterales no podados norte y sur (datos no presentados). Esto podría deberse a una mejora en la calidad floral después de la poda de invierno como se ha observado en el mango (Sharma y Singh, 2006). Este efecto diferencial en el cuaje de las caras podadas y no podadas del árbol proporcionarán una base concreta a la recomendación de realizar podas alternando los lados de los setos de olivo (Rius y Lacarte, 2010; Lodolini *et al.*, 2011).

En frutales de hoja caduca, se han desarrollado modelos estructurales-funcionales para predecir la respuesta de la poda o el raleo de frutos (e.g., Balandier *et al.*, 2000 en nogal; López *et al.*, 2008 en duraznero; Stephan *et al.*, 2008 en manzano). Estos modelos son útiles en especies de árboles frutales con relativamente poca fruta y de gran tamaño donde la poda y el raleo se hacen a menudo de forma manual y selectiva. Este enfoque es probable que sea de uso limitado en olivo debido al gran número de frutos pequeños y porque la poda mecánica elimina las ramas de forma no selectiva. El uso de modelos lineales simples mostró que el aumento en el crecimiento de la rama después de la poda se asoció positivamente con el área foliar removida (AFR) por poda, explicando hasta un 57% de la variación en los datos (Cuadro 2.2). Además, el número de frutos y el rendimiento se asociaron negativamente con el AFR. En un rango más estrecho de intensidad de poda mecánica, Vivaldi *et al.* (2015) no observaron una correlación significativa entre el rendimiento y la biomasa eliminada por poda mecánica en cultivares de bajo vigor, como Arbequina, pero el rendimiento disminuyó con la biomasa eliminada en cultivares de crecimiento más vigoroso.

El biplot nos permitió sintetizar e identificar mejor las relaciones entre las variables estudiadas (Fig. 2.6). El análisis separó el crecimiento de las ramas, el tamaño de los frutos y contenido de aceite por fruto en el primer eje del componente principal (CP1) del rendimiento y número de frutos en el segundo (CP2). Esto confirma que un

excesivo crecimiento vegetativo post-poda se relacionó negativamente con el rendimiento y el número de frutos (Fig. 2.4, 2.5, Cuadro 2.2). En la misma línea, la variable número frutos también se relacionó negativamente con el contenido de aceite por fruto y tamaño del fruto indicando una compensación entre número/tamaño y contenido de aceite tal como muestra el Cuadro 2.1 y la Figura 2.5. Un reciente estudio evaluó el efecto del riego deficitario y la fertilización en setos súper intensivos de Arbequina observando mediante el análisis de componentes principales una relación negativa entre el crecimiento vegetativo y el rendimiento cuando la poda se realizó manualmente cada temporada (Rufat *et al.*, 2014).

Las características morfológicas y fisiológicas de las hojas expuestas a la luz solar completa después de la poda mecánica han sido poco consideradas. La masa foliar específica (SLM) de las hojas situadas en el exterior de la copa poco después de la poda de invierno fue consistente con la respuesta anticipada de las hojas desarrolladas en la sombra (Cuadro 2.4.). El SLM fue un 11, 24 y 34% menor en los tratamientos de poda de 25W, 50W y 75W cuando se comparó con las hojas del control no podado. Esta respuesta es similar a la observada en los olivos sombreados bajo tela media sombra de densidad neutra (Gregoriou *et al.*, 2007). Un modelo de simulación de Fernández *et al.* (2008) ha sugerido que la ganancia neta de carbono de los olivos se incrementaría cuando los árboles fueran podados manualmente debido a un aumento en la proporción de hojas iluminadas por el sol. Sin embargo, las características fotosintéticas de hojas previamente sombreadas deben ser consideradas. Además de las diferencias en SLM después de la poda en mi estudio, los valores de fotosíntesis y transpiración por unidad de peso fueron mayores en hojas de árboles podados en comparación con el control. Aunque los datos presentados son limitados en su cobertura temporal post-poda, indican la necesidad de evaluar las diferencias de intercambio gaseoso de hojas previamente sombreadas y nuevas en respuesta a la poda mecánica.

2.5. Conclusiones

Resumiendo, mis resultados contribuyen a llenar los vacíos de conocimiento relacionados con aspectos importantes de las respuestas del olivo a la intensidad y el momento de la poda. Cuando la poda de invierno se llevó a cabo en un Año *on*, el rendimiento promedio de tres años después del evento de poda no fue afectado por las diferentes intensidades de poda de invierno. Sin embargo, una poda moderada de 50 cm desde borde externo de la copa para un árbol estándar de 2 m de ancho disminuyó las fluctuaciones anuales de rendimiento en nuestras condiciones experimentales. Aunque el crecimiento de las ramas respondió fuertemente a la poda de invierno durante al menos dos temporadas de crecimiento, el análisis de los componentes principales sugiere que el crecimiento de las ramas correlacionó negativamente con el rendimiento y sugiere que las consecuencias potenciales de un rebrote vigoroso deben ser cuidadosamente considerados para un adecuado control del tamaño de los árboles y condiciones climáticas. Por último, la poda lateral severa durante el verano se asoció con un crecimiento vegetativo mucho menor, pero la remoción de frutos de verano tuvo un impacto negativo en el promedio trianual del número de frutos con una reducción del 25% en el rendimiento. Se necesitan estudios adicionales en olivares adultos que formen un seto continuo (i.e. setos súper intensivos) y sobre los cuales la frecuencia entre podas sea un factor a considerar, para mejorar nuestra comprensión de las respuestas a la poda.

En el Capítulo siguiente (Cap. III) se presentarán los resultados del efecto de la poda mecánica invernal y de verano sobre la demografía de ramas nuevas y la posterior tendencia a florecer de las mismas. Los resultados expuestos en siguiente capítulo analizan demográficamente el crecimiento vegetativo y la tendencia a florecer de ramas nuevas por 3 años, luego de una poda mecánica en olivo. Esto nos permitió conocer el efecto de la poda mecánica sobre el número y longitud según ramas nuevas de bajo vigor y vigorosas y el momento en que cambian al estado reproductivo según el tipo de rama.

Capítulo III

Impacto de la poda mecánica sobre la demografía de nuevas ramas y la floración de retorno en árboles de olivo.²

² Albarracín V., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2018. Impact of simulated mechanical hedge pruning and wood age on new shoot demography and return flowering in olive trees. *Trees, structure and function*. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1749-1>

Capítulo III

Impacto de la poda mecánica sobre la demografía de nuevas ramas y la floración de retorno en árboles de olivo.

3.1. Introducción

El análisis demográfico de la respuesta de los árboles frutales a la poda cuantifica los tipos de ramas nuevas (e.g., ramas vegetativas no vigorosas, chupones y reproductivas) y su distribución en el árbol. La poda mecánica modifica la demografía debido a que realiza cortes sin discriminar entre tamaño, edad de la madera en el punto de corte, tipo (i.e. brotes vegetativos o reproductivos) ni posición de las ramas. Además, hay pocas evaluaciones de la floración de las nuevas ramas formadas después de la poda en especies de árboles frutales caducifolios como el manzano y el duraznero (Stephan *et al.*, 2007; Bevacqua *et al.*, 2012) y la floración de retorno ha sido aún menos estudiada en árboles de hoja perenne como el mango (Normand *et al.*, 2009) y el olivo.

La información actualmente disponible muestra que la poda afecta a la demografía de las ramas y la posterior floración de retorno debido a cambios en la tasa de crecimiento de las ramas y al posicionamiento de las yemas fructíferas (i.e., laterales o terminales) (Lauri *et al.*, 1996; Costes *et al.*, 2003; Stephan *et al.*, 2007). En manzano, la poda de invierno estimuló el crecimiento de brotes nuevos y aumentó la probabilidad de que los brotes florecieran en la siguiente primavera, aunque esta respuesta estuvo algo influenciada por las características de crecimiento y floración de cada cultivar (Stephan *et al.*, 2007; Fumey *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2013). Por el contrario, la poda de verano redujo tanto el crecimiento de brotes nuevos (Li *et al.*, 2003 a; Li y Lakso, 2004) como la floración de retorno debido a la eliminación de sitios potenciales de fructificación (Fumey *et al.*, 2011). En duraznero, el aumento de la intensidad de poda de invierno estimuló el número y longitud de chupones, pero se observó una respuesta mucho menor en ramas menos vigorosas y no se examinó la floración (Bussi *et al.*, 2011).

En olivo, se analizó demográficamente las ramificaciones nuevas y la floración de retorno sobre ramas de 5 años de edad según la condición previa de carga de frutos del árbol (Castillo-Llanque y Rapoport, 2011). Este estudio concluyó que el grado de carga de frutos del árbol fue el principal determinante del desarrollo de las inflorescencias sin efecto significativo del tipo de rama y longitud sobre la floración de retorno. En ese estudio, las ramas se clasificaron según la edad y si eran ramas nuevas laterales o apicales, sin una clasificación específica relacionada con el vigor. En olivo, las ramas de bajo vigor generalmente tienen un bajo ángulo de inserción horizontal y entrenudos cortos, mientras que las ramas vigorosas están orientadas verticalmente con entrenudos largos (Gucci y Cantini, 2000). Por lo tanto, se necesitan más estudios para evaluar cómo las modificaciones en el vigor asociadas con la poda mecánica afectan el número, la longitud y la floración de retorno de las ramas nuevas.

Aunque la experiencia práctica en muchos árboles frutales sugiere que la longitud de los brotes suele aumentar con la edad de la madera en los puntos de corte, algunos estudios han evaluado experimentalmente el efecto de la edad de la madera sobre la demografía y las características reproductivas (Lauri *et al.*, 1996; Tiyyon y Strik, 2010; Stanley, 2016). Curiosamente, la evidencia experimental en kiwi encontró que ni la longitud del brote ni el número de frutos difieren con la edad de la madera después de la poda de verano (Tiyyon y Strik, 2010). En estudios con varios cultivares de manzana y damasco, el cuaje fue menor en brotes sobre madera de 1 año que en madera de 2 o 3 años (Lauri *et al.*, 1996; Stanley, 2016), pero la madera más vieja también mostró menor cuaje de frutos en damasco (Stanley, 2016). Hasta donde sabemos, el efecto de la edad de la madera sobre la subsiguiente composición demográfica y características reproductivas después de la poda mecánica de olivos en invierno y verano no ha sido previamente examinado.

La poda es una práctica necesaria para controlar el tamaño del canopeo y reducir la alternancia productiva o vecería del olivar, pero debe considerarse el momento y la intensidad de poda (Lavee, 2007; Albarracín *et al.*, 2017). Después de una poda de invierno, se espera una mayor proporción de ramas vigorosas (chupones) que en árboles no podados (Gucci y Cantini, 2000), mientras que la poda en el verano es más frecuentemente asociada con menos ramas nuevas y menos vigorosas (Albarracín *et al.*, 2017). La intensidad de poda mecánica en la copa probablemente no solo modificaría el número y el tipo de ramas nuevas y su distribución, sino también la edad de madera expuesta a la periferia de la copa sobre la cual se originaran las ramas nuevas. En este sentido, Castillo-Llanque y Rapoport (2011) encontraron que el crecimiento más nuevo se originó sobre las ramas de madera más jóvenes (i.e. crecimiento lateral o apical sobre ramas de 1 o 2 años). Sin embargo, no fue posible evaluar el efecto de la edad de la madera *per se*, ya que las ramas de madera más jóvenes estaban bien iluminadas en la periferia de la copa, mientras que las ramas de madera más vieja (i.e. crecimiento lateral o apical sobre ramas >2 años) tendían a encontrarse en la parte más interna de la copa del árbol donde la iluminación era baja.

En olivo, las yemas laterales que se encuentran en las ramas pueden ser vegetativas o reproductivas (Sanz-Cortés *et al.*, 2002). En contraste con los frutales de pepita, tales como manzano, no hay brotes florales específicos predominantes (i.e., spurs cortos) en olivo. Las yemas florales se forman sobre ramas que crecieron durante la temporada anterior (Connor y Fereres, 2005) y la inducción floral parece producirse a principios del invierno bajo temperaturas frías basadas en evidencia molecular reciente asociada con genes que codifican el locus T de floración (Haberman *et al.*, 2017). Las yemas reproductivas requieren temperaturas más bajas durante el invierno para salir de la endodormancia y para que la floración ocurra durante la primavera después de la acumulación de temperaturas más cálidas (Hackett y Hartmann, 1964; De Melo-Abreu *et al.*, 2004). Por el contrario, las yemas vegetativas parecen tener una endodormancia fácilmente reversible (López-Bernal *et al.*, 2017). Estas yemas vegetativas pueden resultar en dos tipos de ramas principales, brotes cortos de bajo vigor o chupones. Dado que el vigor se correlaciona positivamente con las concentraciones de giberelina en los meristemas apicales (Elliott *et al.*, 2001) y que las hormonas como las giberelinas parecen estar involucradas en la inducción floral (Haberman *et al.*, 2016, 2017), los cambios en la demografía de ramas debido a la intensidad de poda o la edad de la madera pueden influir en la intensidad de la floración en el olivo. Para definir las estrategias apropiadas de manejo del olivar, la cantidad de estaciones de crecimiento entre la poda mecánica y

lograr una floración suficiente para obtener altos rendimientos de fruta es información crítica.

El aumento de la densidad en las plantaciones de olivares en los últimos veinte años ha hecho de la mecanización un componente crítico del manejo del olivar (Connor *et al.*, 2014; Tombesi *et al.*, 2014). Sin embargo, los estudios experimentales que abordan la poda de los setos de olivo en cultivares conocidos con diversos grados de vigor y arquitectura de ramas son muy escasos (Vivaldi *et al.*, 2015). Albarracín *et al.* (2017) analizaron el crecimiento total de brotes en respuesta a la intensidad de poda mecánica simulada en cv. Arbequina, el cultivar de seto más plantado en todo el mundo. Sin embargo, no se incluyeron otros análisis sobre el tipo de brotes o el impacto de la edad de la madera. Además, no se ha tenido en cuenta la posible influencia de estos cambios demográficos en la floración de retorno. El experimento descrito en este capítulo tuvo como objetivo responder a las siguientes preguntas: (1) ¿El crecimiento de nuevos brotes está asociado con la intensidad de la poda mecánica y/o a la edad de madera sobre la que crecen? y, (2) ¿cuántas estaciones de crecimiento post-poda son necesarias para que los brotes nuevos cambien al estado reproductivo? Para responder a estas preguntas y obtener una visión global del comportamiento de los nuevos tipos de brotes, se realizó un experimento que combinó diferentes niveles de poda de invierno (ligera, moderada y severa) y poda severa en verano. El seguimiento posterior de los brotes nuevos generados en los puntos de corte (maderas de 0 a 4 años de edad) tuvo como objetivo determinar el efecto de la intensidad de poda, el momento y la edad de madera sobre crecimiento de brotes nuevos y su posterior floración.

3.2. Materiales y Métodos.

3.2.1. Sitio experimental y tratamientos de poda mecánica

La descripción extensa del sitio experimental y los tratamientos de poda mecánica se encuentran detallados en la sección 2.2.1 del Capítulo II y en Albarracín *et al.* (2017). En resumen, el experimento se realizó a lo largo de tres temporadas de crecimiento entre agosto de 2009 y septiembre de 2012 en una finca comercial de olivo (*Olea europaea* cv. Arbequina) ubicado a 20 km al norte de la ciudad de La Rioja, Argentina (latitud 29° 17' S, longitud 66° 45' W; 444 msnm). Al inicio del experimento, los árboles tenían 5 años de edad con una orientación de fila norte-sur. La distancia entre árboles fue de 6 m dentro de las filas y 8 m entre las filas. El suelo era de textura franco arenosa con un perfil profundo y homogéneo. Se emplearon árboles de tamaño mediano, bastante jóvenes, de diámetro promedio de copa y altura de 2.2 m y 2.7 m, respectivamente, para examinar las respuestas de la poda mecánica simulada.

La poda se realizó en árboles individuales en un año "on" con alta carga de frutos (> 3400 frutos m^{-3}) según Trentacoste *et al.* (2010). Se evaluaron tres tratamientos de poda de invierno (W) y un solo tratamiento de poda de inicio de verano (S), junto con un control no podado (CON). La poda de invierno se realizó el 24 de agosto de 2009, cuando las yemas vegetativas y reproductivas se podían distinguir fácilmente, y la poda de verano se llevó a cabo el 1° de diciembre de 2009, justo después del endurecimiento del endocarpio. Los tratamientos de poda de invierno y verano se implementaron usando tijeras podadoras manuales en los lados este y oeste de los árboles a diferentes distancias desde la superficie externa de la copa. La poda de todas las ramas a una distancia

determinada simuló la técnica de poda mecánica (“heading cut”) que es cada vez más común en muchos olivares comerciales. Las distancias desde la superficie externa de la copa fueron 0.25 (25W), 0.50 (50W) y 0.75 m (75W) para los tratamientos de poda de invierno y 0.75 m (75S) para el tratamiento de poda de verano. Después de la poda, el diámetro promedio del árbol en la dirección este-oeste fue 1.70, 1.20 y 0.80 m para las tres distancias de poda. El “top” de los árboles no se podó en ninguno de los tratamientos durante el período experimental porque la altura (<3.0 m) de los árboles al inicio del experimento fue mucho menor que el máximo de 3.5 m permitido por las cosechadoras cabalgantes (e.g., Colossus). El diseño experimental fue un diseño de bloques completos al azar con seis bloques. Cada bloque estaba integrado por cinco árboles de los tratamientos de poda y un control sin poda. Así, se utilizaron 30 árboles durante el estudio de similar volumen de copa inicial asociados a una misma posición en el terreno.

Todos los árboles fueron irrigados por goteo para satisfacer el 100% de sus requerimientos de evapotranspiración utilizando un coeficiente de cultivo (K_c) de 0.7 durante la temporada de verano y un K_c de 0.4 durante los meses de invierno (Rousseaux *et al.*, 2009). Los niveles de riego se ajustaron al tamaño de la copa de cada tratamiento podado y el control mediante el cálculo de un coeficiente de reducción (K_r) que representaba la superficie del suelo sombreada por la copa del árbol (Ferreiras y Castel, 1981). El valor K_r del control fue 0.30 el primer año del experimento y 0.40 el segundo año. Los valores de K_r de los tratamientos podados fueron siempre inferiores a los del control.

3.2.2. Clasificación de las ramas y brotes podados por edad de madera.

Inmediatamente después de los eventos de poda de invierno y verano en 2009, se evaluó el número total de ramas o brotes cortados y su edad de madera en el punto de corte para las diferentes intensidades de poda y momento de poda (Imagen 3.1 a y b). Una rama se refiere a una unidad de crecimiento más grande que un brote con ramas que tienen múltiples puntos de ramificación con varios brotes más pequeños. Los brotes se definieron como unidades de crecimiento que se formaron en un año sobre madera formada en el año actual o en años anteriores. La edad de la madera en los puntos de corte se estimó utilizando el protocolo recomendado por Castillo-Llanque y Rapoport (2011) para olivos. Este protocolo estima principalmente la edad de la madera mediante la cuantificación del orden de ramificación en función del número de ramificaciones laterales y eventos de extensión apical. Otros criterios se utilizan secundariamente para mejorar las estimaciones, incluye la presencia de hojas, brotes laterales y la apariencia externa de la corteza. La vida útil de las hojas y las yemas laterales generalmente se considera que es un máximo de 3 y 2 años, respectivamente. Para evaluar de forma independiente la edad de la madera en los puntos de corte, se midió el diámetro de la ramificación y brote, así como el número de anillos de crecimiento en los puntos de corte. Los valores promedio de diámetro fueron 5.1 mm para brotes de 1 año y 21.4 mm para ramas de 4 años. Las estimaciones de la edad de madera obtenidas del protocolo de Castillo-Llanque y Rapoport (2011) y la metodología de diámetro de ramas y brotes fueron muy similares, y las edades de la madera en los puntos de corte reportados en este estudio son las edades estimadas por el protocolo de Castillo-Llanque y Rapoport (2011). La edad de la madera fue considerada como una variable apropiada para clasificar el material podado, porque una estimación del marco temporal bajo el cual ocurrió el crecimiento previo es relevante para el manejo del olivar.



Imagen 3.1. En (a) se muestra el canopeo antes de imitar la remoción por podadora mecánica y en (b) la cuantificación demográfica de las ramas eliminadas de la poda clasificadas por edad y tipo de rama.

3.2.3. Demografía de ramas nuevas y floración de retorno

En cada árbol podado, se marcaron 12 ramas base (BB, 6 sobre el lateral este y 6 en la cara oeste del árbol) en alturas de entre 1 y 2 m en las cuales se realizaron determinaciones del nuevo crecimiento vegetativo y la floración de retorno. El crecimiento de las ramas nuevas generadas post-poda, el número de ramas y elongación, se registró durante dos temporadas de crecimiento (2009-2010 y 2010-2011), y la floración de retorno de estas mismas ramas se examinó en la primavera durante tres temporadas (2010, 2011 y 2012). El término "rama de base" (BB) se refiere a la estructura de soporte de madera subyacente justo debajo del punto de corte. El crecimiento de los brotes, el número y la longitud, en las BB marcadas se registró al final de cada una de las dos temporadas de crecimiento (Año 1, 2009-2010 y Año 2, 2010-2011). El nuevo crecimiento evaluado se limitó a los brotes que crecen dentro de los 10 cm del punto de corte en la BB. Hubo solo unos pocos casos (<5%) en que los brotes formados antes de la poda estuvieron presentes en esta zona de 10 cm, y el crecimiento de estos brotes no se consideró en el análisis. Las edades de la madera de las BB marcadas oscilaron entre 0 y 4 años según la intensidad de poda aplicada (Cuadro 3.1). En los árboles de control (CON), se seleccionaron 12 brotes bien iluminados en la porción exterior de la copa cuyos diámetros en su base eran similares a los de las BB del tratamiento 25W. Estos brotes seleccionados tenían entre 0 y 1 años de edad, lo que es representativo de la edad de la madera en esta posición externa del dosel. La edad 0 correspondió a brotes que crecieron a partir de yemas generadas en la temporada anterior.

Las ramas nuevas producidas sobre las 12 BB al final de la primera (Año 1, abril de 2010) y segunda (Año 2, abril 2011) estación de crecimiento post-poda se clasificaron en cuatro tipos: brotes de bajo vigor, brotes laterales (lat-brotes, ramificados a partir de brotes de bajo vigor), chupones (brotes vigorosos) y chupones laterales (lat-chupones, ramificados a partir de los chupones) (Fig. 3.1). Aunque es cierto que hubo un gradiente continuo en la tasa de crecimiento, se utilizaron varios criterios, incluido el ángulo de inserción, la longitud del entrenudo, el número de hojas por entrenudo y la forma de la

hoja para clasificar el crecimiento según el vigor (ver Gucci y Cantini 2000). El nuevo crecimiento con ángulos de inserción horizontales bajos, entrenudos cortos ($<3,0$ cm) y dos hojas alargadas por nudo se clasificó como brotes de bajo vigor y lat-brote. Por el contrario, los chupones y lat-chupones tuvieron un crecimiento vigoroso con ángulos de inserción verticales altos, entrenudos largos (> 3.0 cm) y 3-4 hojas redondeadas por nudo en algunos casos. En el Año 2, un porcentaje muy pequeño (0,3%) de lat-brotes y lat-chupones produjo nuevos brotes (i.e., brotes laterales desarrollados sobre brotes laterales). Debido a su baja frecuencia, estos brotes se incluyeron en las categorías lat-brote o lat-chupones. Se midió el % de BB que produjeron brotes, lat-brotes, chupones y lat-chupones, una variable indicativa de la tendencia de las BB en generar nuevo crecimiento en respuesta a la poda. El número de nuevos brotes por BB y la longitud media de los cuatro tipos de crecimiento también se determinaron para cada tratamiento de poda. Para estas variables, los valores de crecimiento del Año 2 representan el nuevo crecimiento que se produce en ese año y no el crecimiento acumulado durante los dos años. Para lograr esto, los brotes se midieron al final de cada temporada y los valores del Año 1 se restaron de los del Año 2.

La floración en los nuevos brotes después de la poda se cuantificó como el porcentaje de BB con al menos una inflorescencia para un tipo de brote dado. Las mediciones se realizaron durante la plena floración del 1º y el 20 de octubre en la primavera de 2010, 2011 y 2012. Las primeras mediciones coincidieron con la primavera de la segunda temporada de crecimiento.

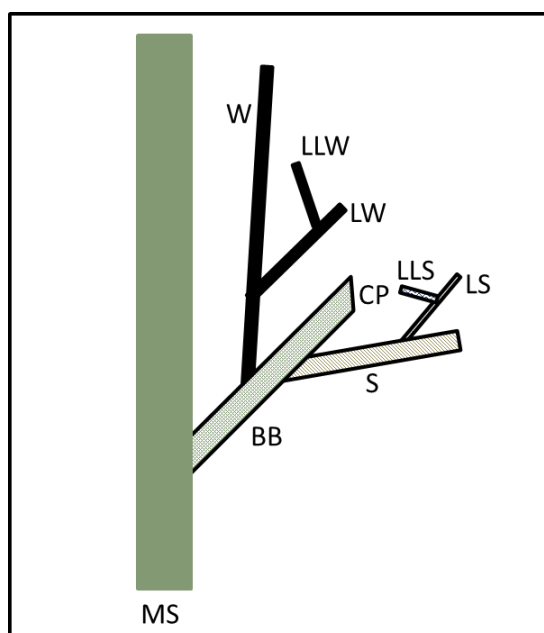


Figura 3.1. Tipos de brotes nuevos originados sobre ramas bases (BB) después de la poda de invierno o de verano. Las letras indican: MS: Rama principal (ramas primarias, secundarias o terciarias que sostienen las BB); BB: Ramas bases (estructura subyacente de soporte leñosa justo debajo del punto de poda) de 0 a 4 años de edad de madera; CP: punto de corte de la poda; S: brote de bajo vigor nuevo originado sobre la BB. LS: lat-brote sobre el brote nuevo; LLS: lat-brote originado sobre un lat-brote. W: chupón nuevo; LW: lat-chupón originado sobre el W nuevo y LLW: lat-chupón originado sobre el lat-chupón. Los brotes son ramas con crecimiento

horizontal, entrenudos cortos con 2 hojas por nudo y los chupones son ramas vigorosas con crecimiento vertical, entrenudos largos con 3 a 4 hojas redondeadas por nudo.

3.2.3. *Análisis de los datos.*

El número totales de ramas o brotes cortados y su edad de madera en el punto de corte se analizaron mediante ANOVA para evaluar las posibles diferencias entre los tratamientos de poda. Las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre medias fueron determinadas con el test LSD. Las respuestas del nuevo crecimiento y demografía de brotes a la poda es decir: el % de BB con brotes, el número de brotes por BB y la longitud de brotes para cada categoría (i.e., brotes, lat-brotes, chupones y lat-chupones) se analizaron utilizando modelos lineales generales y mixtos para medidas repetidas en el tiempo porque las observaciones se hicieron en las mismas BB en ambos años. Debido a que las interacciones Poda x Año fueron a menudo significativas, se determinaron las diferencias entre los tratamientos de poda dentro de un año determinado. Los datos calculados como porcentajes se transformaron antes del análisis utilizando la raíz cuadrada de la función arco seno.

El análisis ANOVA preliminar mostró que la intensidad de la poda no afectó la respuesta de las variables de crecimiento de brotes a la edad de la madera. Por lo tanto, el efecto de la edad de madera de BB sobre el crecimiento de brotes se presenta para cada año con diferencias significativas ($P < 0.05$) entre medias que se determinan usando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para explicar el desbalance entre las edades de la madera de BB entre árboles. El número total de BB observadas fue 360 (12 BB por árbol x 30 árboles) y el tamaño de muestra (n) fue variable para cada de edad de BB. Para las BB de 0, 1, 2, 3 y 4 años los n fueron 68, 59, 128, 84 y 21, respectivamente. Para la floración de retorno, se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para cada categoría de brotes debido a la alta frecuencia de ceros en los conjuntos de datos. Los datos fueron transformados logarítmicamente [$\log Y$ o $\log (Y+1)$] antes del análisis cuando la distribución no fue normal. Los datos expresados en porcentaje fueron transformados previos al análisis usando la función raíz cuadrada del arco-seno.

Por último, se utilizó el análisis multivariado de componentes principales (CP) para examinar las relaciones entre las variables de respuesta vinculados con el crecimiento vegetativo (% de BB con brotes y chupones, número y longitud de brotes y chupones por BB), con los factores de intensidad, momento de poda y la edad de madera de BB para los Años 1 y 2. Se excluyeron todas las variables relacionadas con el crecimiento lateral (% BB con lat-brotes y lat-chupones, número y longitud de lat-brotes y lat-chupones por BB) del análisis porque en un análisis exploratorio de CP estas variables estuvieron altamente correlacionadas con sus ramas de orden primario (i.e., % de BB con brotes y chupones, número y longitud de brotes y chupones por BB). Todos los análisis fueron realizados con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

3.3. Resultados

3.3.1. Clasificación de ramas podadas por edad de madera.

Como era de esperar, las distintas intensidades de poda modificaron el número y la edad de madera de las ramas o brotes removidos (Cuadro 3.1). En la poda de invierno, el número total de ramas o brotes removidos aumentó significativamente ($p < 0.05$) con la intensidad de poda. Por el contrario, no hubo diferencias estadísticamente significativas en el número de ramas o brotes eliminados entre los tratamientos 75W y 75S. En todos los tratamientos de poda, la madera clasificada como de 1 y 2 años en el punto de corte fue mucho más común (76-98%) que la madera de 3 o 4 años (Cuadro 3.1, letras minúsculas en análisis de filas). Por otro lado, a lo largo de los tratamientos de poda y entre las edades de la madera, el número de ramas o brotes de 1 o 2 años aumentó significativamente con la intensidad de poda (Cuadro 3.1, letras mayúsculas en análisis de columnas).

Cuadro 3.1. Número total de ramas o brotes eliminados según su edad de madera en invierno (25W, 50W y 75W) y verano (75S). Los valores en cada celda son medias de 6 árboles \pm un error estándar. Letras diferentes en mayúscula en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de poda para cada categoría de edad de madera. Letras minúsculas diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas entre edades de madera dentro de cada tratamiento.

Tratamientos	# Ramas o brotes podados por punto de corte					
	Totales	0 Año	1 Año	2 Años	3 Años	4 Años
25W	162 \pm 33 C	0.5 \pm 0.3 c B	100 \pm 12 a C	59 \pm 20 b C	4 \pm 2 c C	0 c B
50W	274 \pm 17 B	0 b B	107 \pm 24 a C	119 \pm 24 a BC	32 \pm 25 b A	0 b B
75W	395 \pm 25 A	0 b B	188 \pm 22 a A	194 \pm 19 a A	11 \pm 2 b B	2 \pm 1 b AB
75S	353 \pm 51 AB	46 \pm 16 b A	125 \pm 21 a B	144 \pm 14 a B	31 \pm 6 bc A	6 \pm 1 c A

3.3.2. Porcentajes de nuevas ramas, número y longitud.

3.3.2.1. Efecto de la Intensidad y momento de poda.

El porcentaje de BB con brotes de bajo vigor fue bastante alto en el Año 1, disminuyendo con la intensidad de poda de invierno de 78% en 25W a aproximadamente 55% en los tratamientos 50W y 75W (Fig. 3.2 a). Por el contrario, el porcentaje de BB con chupones fue mucho menor (8 a 36%), pero aumentó con la intensidad de poda de invierno del 11% en 25W a 36% en 75W. Tanto los porcentajes de BB con lat-brotes y con lat-chupones también aumentaron con la intensidad de poda de invierno en el Año 1. Los árboles podados en verano (75S) tendieron a tener más brotes de bajo vigor pero menos chupones, lat-brotes y lat-chupones que el tratamiento más intenso de poda de invierno (75W). En el Año 2, el porcentaje de BB con nuevos brotes de bajo vigor formados durante el segundo año se mantuvo alto, disminuyendo con la intensidad de poda de invierno en el Año 2 de 81% en 25W a aproximadamente 65% en los tratamientos de 50W y 75W (Fig. 3.2 b). Mientras tanto, aumentos estadísticamente significativos en nuevos chupones y lat-chupones todavía se observaron en el Año 2 debido a los

tratamientos de poda de invierno, el porcentaje de BB con chupones (2-13%) y lat-chupones (0-10%) fue baja. Por contraste, el porcentaje de BB con nuevos lat-brotes nuevos aumentó considerablemente del Año 1 al Año 2, y no se observó ningún efecto de la poda de invierno en el porcentaje de BB con lat-brotes en el Año 2. Todas las categorías de ramas mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los Años 1 y 2 en el porcentaje de BB con ramas nuevas. Es importante volver a notar para todas las variables que el crecimiento considerado en el Año 2 representa el crecimiento nuevo y no el acumulado de dos años.

En el Año 1, las respuestas del número de brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones por BB a la intensidad de la poda de invierno (Fig. 3.2 c) mostraron patrones similares a los encontrados para el porcentaje BB en la cantidad de esas categorías de ramas. La cantidad de ramas del tratamiento CON fueron significativamente más bajas que los tratamientos más intensos de poda de invierno en las categorías de chupones, lat-brotes y lat-chupones y el número de ramas nuevas en 75S tendieron a ser inferiores a 75W en los mismos tipos de ramas. En el Año 2, hubo un gran aumento en los lat-brotes nuevos en todos los tratamientos, pero la respuesta fue mayor en los tratamientos de poda de 50W y 75W (Fig. 3.2 d). Esto contrasta con el hecho de que no se encontró ninguna diferencia en el porcentaje de BB con lat-brotes nuevos en el Año 2 (Fig. 3.2 b).

A excepción de los lat-brotes, la elongación de todos los tipos de brotes aumentó con la intensidad de poda de invierno en el Año 1 (Fig. 3.2 e). La respuesta fue mayor en los chupones de los tratamientos 50W y 75W con longitudes promedio de aproximadamente 40 a 50 cm. La longitud de los chupones en el tratamiento de poda de verano (75S) fue similar al control y a 25W con longitudes de sólo unos 20 cm. En el Año 2, hubo una elongación significativamente mayor para todas las categorías (especialmente en los chupones) y se repitieron los patrones de respuesta al tratamiento del Año 1 (Fig. 3.2 f).

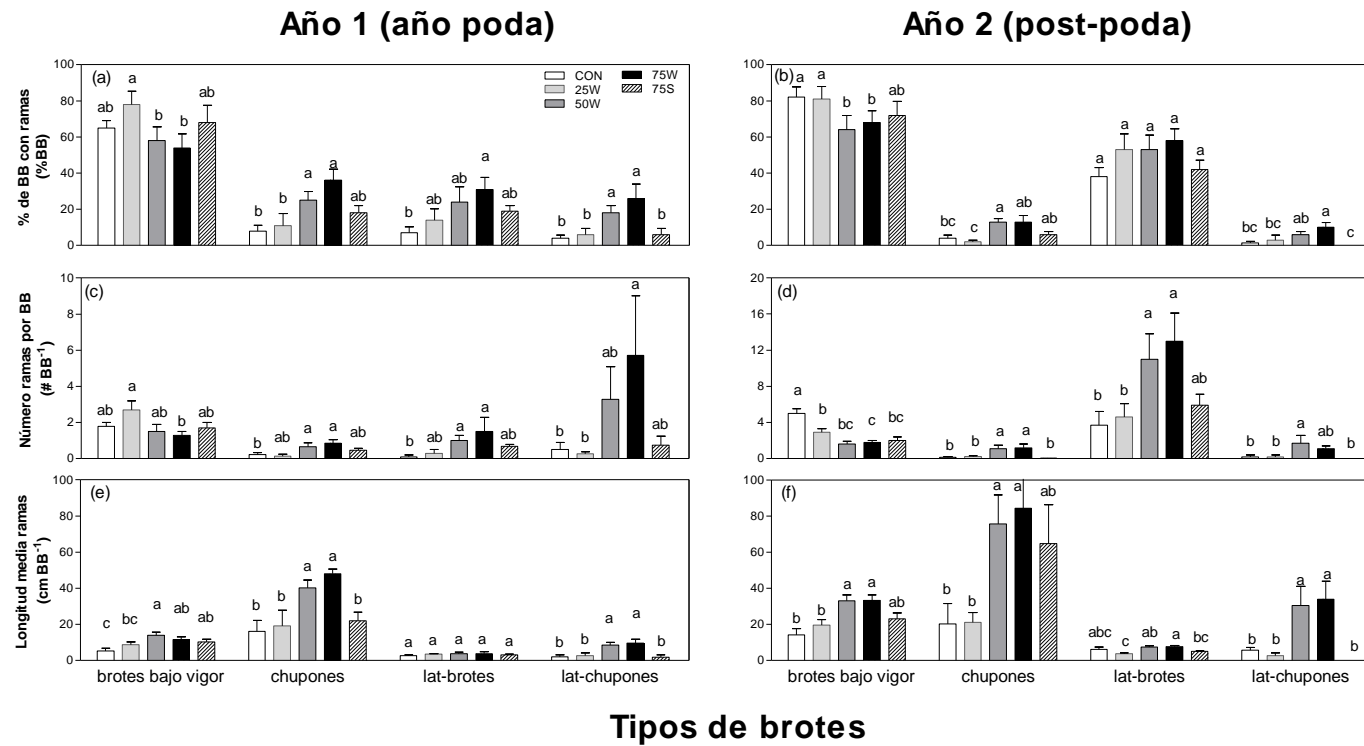


Figura 3.2. Porcentaje de ramas de base (% BB) con nuevos brotes (a, b); Número de nuevos brotes por BB (c, d) y longitud media de brotes por BB (e, f) para cada tipo de brote y tratamiento de poda en una estación de crecimiento determinada (ver códigos de tratamiento en la parte superior derecha). Los datos se representan por separado para el crecimiento en el Año 1 (paneles de la izquierda, a, c, e) y en el Año 2 (paneles de la derecha, b, d, f). El término “nuevas ramas o brotes” se refiere a las ramas o brotes que se formaron en una temporada de crecimiento dada (i.e., Año 1 o Año 2) y no acumuladas durante las estaciones. La longitud de la rama o brote también se refiere al crecimiento que ocurre en una estación determinada. El nuevo crecimiento se clasificó en cuatro grupos: brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotos y lat-chupones. Hubo un control (CON) y tres tratamientos de poda de invierno (25W, 50W y 75W) y un tratamiento de poda de verano (75S). Cada barra representa la media \pm error estándar ($n = 6$ árboles). Cada árbol (unidad experimental) tenía 12 BB. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro del tipo de brote.

3.3.2.2. Efecto de la edad de madera de BB.

La edad de la madera tuvo mayor impacto en las ramas vigorosas, pero poco efecto en las no vigorosas (Fig. 3.3). En el Año 1, el porcentaje de BB con brotes de bajo vigor fue alto para todas las edades de la madera sin una respuesta estadísticamente significativa a la edad de la madera (Fig. 3.3 a). Por el contrario, el porcentaje de BB con chupones fue mucho menor, pero aumentó fuertemente con la edad de la madera de BB (del 6 al 52%). A pesar de que no hubo una respuesta significativa de los brotes de bajo vigor a la edad de la madera de BB, los porcentajes de BB con lat-brotes fueron bastante pronunciados con un aumento de 6-48% con la edad de la madera. Tanto los porcentajes de BB con lat-brotes y con lat-chupones también aumentaron con la edad de la madera de BB. Similar al Año 1, el porcentaje de BB con brotes nuevos de bajo vigor no fue afectado por la edad de madera de BB en el Año 2, pero los lat-brotes formados durante el Año 2 continuaron aumentando con la edad de la madera (Fig. 3.3 b). Si bien el porcentaje de BB con nuevos chupones y lat-chupones aumentó con la edad de la madera de BB en el Año 2, este efecto fue menos evidente que en el Año 1. El porcentaje de BB con nuevos lat-brotes aumentó considerablemente del Año 1 al Año 2, y también aumentó con la edad de madera de BB (35 a 62%).

En el Año 1, las respuestas del número de brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones por BB a la edad de la madera (Fig. 3.3 c) mostraron patrones similares a los encontrados para el porcentaje de BB con nuevo crecimiento para estos mismos tipos de brotes. Por el contrario, el número de brotes de bajo vigor por BB en el Año 2 fue menor en las BB de 1, 2 o 3 años que en la madera de 0 a 4 años (Fig. 3.3 d), mientras que no se encontró diferencia entre las edades de la madera para el porcentaje de BB con nuevos brotes de bajo vigor en este mismo año (Fig. 3.3 b). La respuesta de los lat-brotes a la edad de la madera es particularmente evidente en el Año 2 con una cantidad de lat-brotes nuevos que es cinco veces mayor (diez contra dos lat-brotes) cuando la edad de BB fue de 4 años en comparación con edades de madera de 0 y 1 (Fig. 3.3 d).

La longitud de los brotes fue menor cuando la edad de la madera de BB fue de 0 en comparación con las edades de 1 a 4 (10 y 18 cm) en el Año 1, mientras que la longitud de los chupones aumentó exponencialmente con la edad, alcanzando 58 cm cuando crece sobre madera de 4 años (Fig. 3.3 e). Para todas las edades, los lat-brotes nunca excedieron los 5 cm y su elongación no fue afectada por la edad de madera de BB. En el Año 2, la longitud de los brotes de bajo vigor, chupones, y lat-brotes aumentó con respecto a Año 1 para los mismos tipos de brotes. Sin embargo, la longitud de los lat-chupones disminuyó, en particular para la madera 4 años de edad (de 67 a 35 cm, para el Año 1 y 2 respectivamente). Para todo tipo brote, la longitud aumenta con la edad de madera en el Año 2 (Fig. 3.3 f).

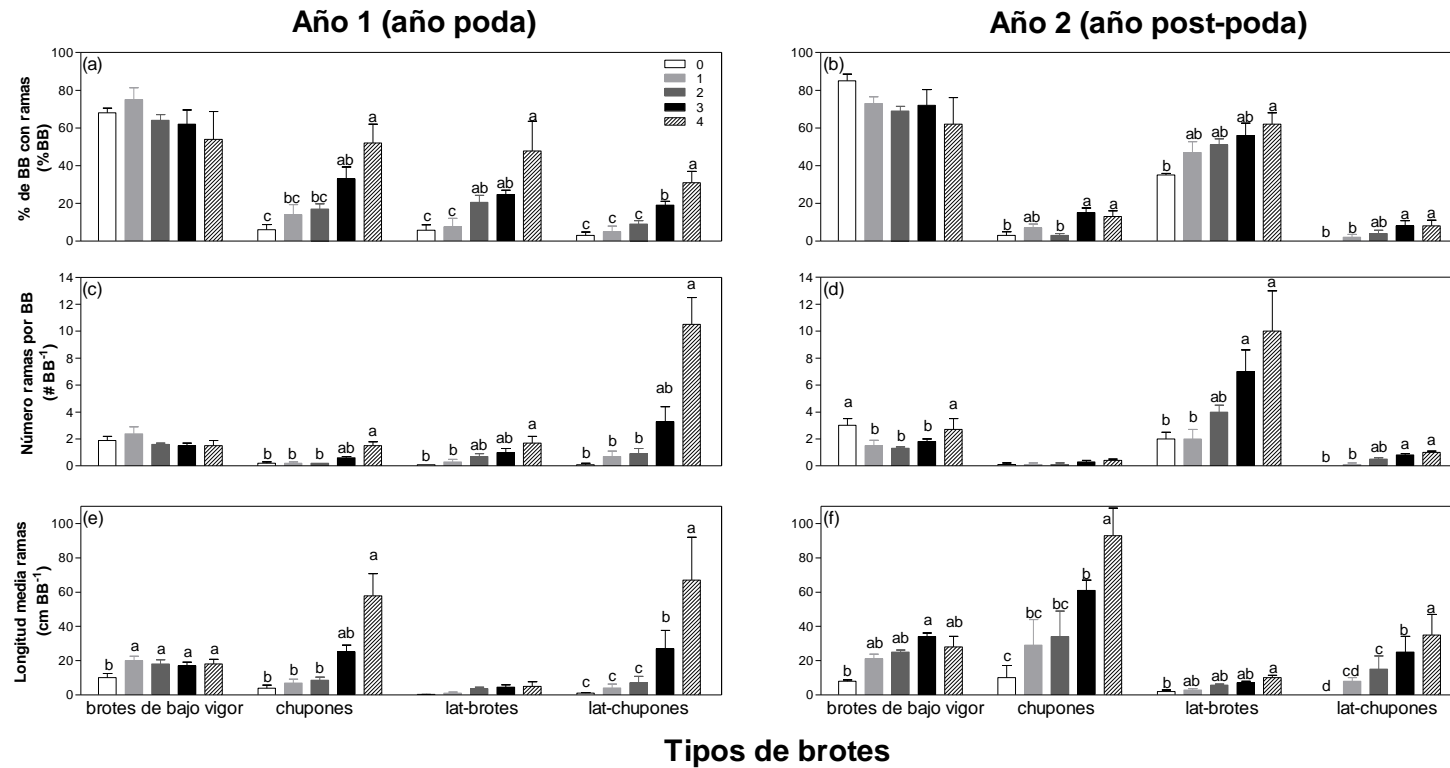


Figura 3.3. Porcentaje de ramas de base (% BB) con nuevos brotes (a, b); número de nuevos brotes por BB (c, d) y longitud media de brotes por BB (e, f) para cada tipo de brotes y edad de madera de BB en una estación de crecimiento determinada (ver códigos de edades en la parte superior derecha). Los datos se representan por separado para el crecimiento en el Año 1 (paneles de la izquierda, a, c, e) y en el Año 2 (paneles de la derecha, b, d, f). El término “nuevas ramas o brotes” se refiere a las ramas o brotes que se formaron en una temporada de crecimiento dada (i.e., Año 1 o Año 2) y no acumuladas durante las estaciones. La longitud de la rama o brote también se refiere al crecimiento que ocurre en una estación determinada. El nuevo crecimiento se clasificó en cuatro grupos: brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones. En el análisis se incluyeron edades de madera en el momento de la poda de 0 (i.e., estación actual), 1, 2, 3 y 4. Cada barra representa la media \pm error estándar para cada edad de BB y tipo de brote. El total de BB analizadas fue 360 (12 BB por árbol \times 30 árboles). Para las BB de 0, 1, 2, 3 y 4 años los tamaño de muestra (n) fueron 68, 59, 128, 84 y 21. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las edades de BB dentro del tipo de brote.

3.3.2.3 Análisis por componentes principales (PC)

Los primeros dos componentes del PC aplicados a los datos de las respuestas de demografía de rama a la intensidad, momento de poda y edad de la madera de BB en el Año 1 explicaron 50.6% y 29% de la variabilidad total (Cuadro 3.2). Sólo los brotes de bajo vigor y chupones se incluyeron en el PC porque el crecimiento lateral mostró una alta correlación con los brotes de bajo vigor y chupones. Esta reducción en el número de variables aumentó ligeramente el % de variabilidad explicado por los dos primeros componentes principales (i.e., del 76% al 79.6%). El PC1 se asoció fuertemente con las variables de respuesta vinculadas a las categorías de brotes de crecimiento vigoroso, y el PC2 con variables de respuesta vinculadas a las categorías de brotes de crecimiento menos vigoroso. La posición de los vectores en el espacio del biplot definido por PC1 y PC2 (Fig. 3.4) muestra que la asociación entre las tres variables de respuesta ligadas a los chupones fue muy fuerte y se asoció con el PC1, mientras que las tres variables de respuesta vinculadas a los brotes de bajo vigor fueron más ligeramente asociadas entre sí y fueron fuertemente vinculadas a PC2. Así, ambos grupos de variables eran relativamente independientes. La Figura 3.4 también muestra que las trayectorias de los tratamientos de poda/edad de madera en el espacio de biplot diferían muy fuertemente entre los tratamientos de poda. La poda de invierno moderada y severa (50W y 75W) fue más fuertemente asociada con PC1 y que esta asociación se hizo más fuerte a medida que aumentaba la edad de la madera. La poda de invierno ligera o la poda severa de verano (25W y 75S) fueron más fuertemente asociados con el PC2, excepto en el caso de 75S con la edad de madera de 4 años, donde la trayectoria mostró un fuerte enfoque hacia PC1.

Cuadro 3.2. Asociaciones entre los dos primeros componentes principales (PC1, PC2) con las variables de respuesta de demografía de brotes considerados en el análisis de PC para cada uno de los Años 1 y 2. Se consideraron los coeficientes de correlación en negrita (> 0.60) en la interpretación del componente principal.

Variables	Año 1		Año 2	
	PC1	PC2	PC1	PC2
% BB con brotes de bajo vigor	0.15	0.94	-0.04	0.89
# Brotes de bajo vigor BB ⁻¹	0.20	0.64	0.20	0.90
Longitud de brotes de bajo vigor BB ⁻¹	0.44	0.65	0.46	-0.25
% BB con chupones	0.96	-0.11	0.97	0.02
# Chupones BB ⁻¹	0.95	-0.10	0.98	-0.0032
Longitud de chupones BB ⁻¹	0.97	-0.08	0.95	-0.05

En el Año 2, los dos primeros PC explicaron 50.7% y 27.7% de la variabilidad total (Fig. 3.5). Al igual que en el Año 1, en el Año 2 el PC1 estuvo dominado por los brotes vigorosos y el PC2 por los brotes no vigorosos, aunque la longitud de los brotes BB⁻¹ ya no estaba asociada con PC2 (Cuadro 3.2). Los vectores de ramas o brotes vigorosos se asociaron fuertemente entre sí y mostraron ángulos cercanos a 90° en relación a los vectores % BB con brotes de bajo vigor y # brotes de bajo vigor BB⁻¹ (Fig. 3.5), pero a diferencia del Año 1, el vector de longitud de los brotes de bajo vigor BB⁻¹ mostró una relación negativa con PC2 y se asoció más estrechamente con los vectores de brotes vigorosos. Las trayectorias definidas por el tratamiento de poda/edad de la madera

exhibieron patrones bastante similares que los expuestos en el Año 1 (Fig. 3.5). En el Año 2, un mayor impacto de la edad de la madera fue evidente con respecto al Año 1 fue evidente para 50W y 75S. Para estos tratamientos, el aumento de la edad de la madera de BB se asoció con un mayor crecimiento de ramas o brotes vigorosos y, de alguna manera, con brotes de bajo vigor más largos (Fig. 3.5). Por otro lado, el 75W se asoció con la longitud del brote de bajo vigor (madera de 3 años) y luego una tendencia a un aumento en el número de brotes de bajo vigor por BB con la madera de 4 años en el Año 2.

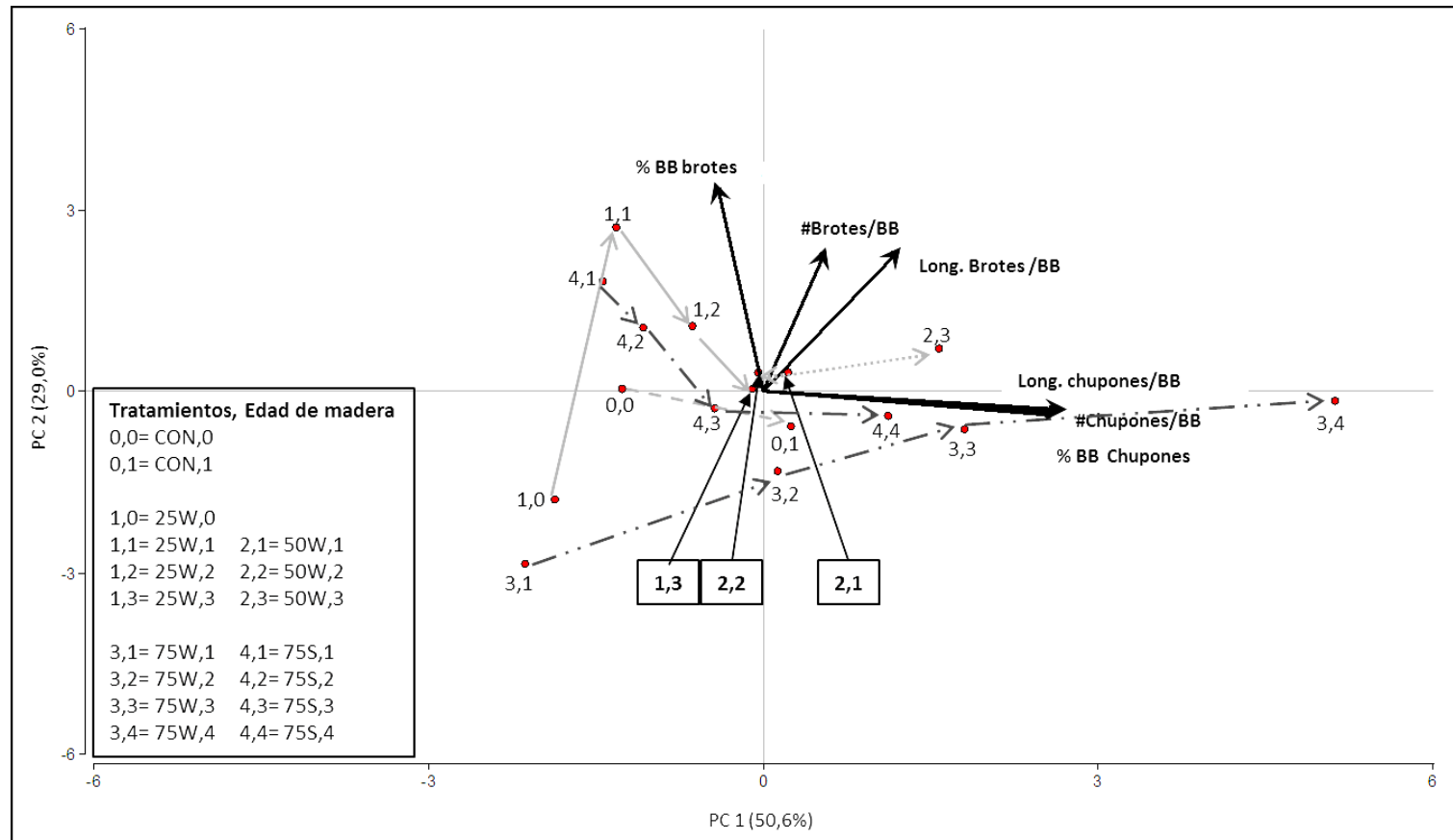


Figura 3.4. Posiciones de los vectores (flechas gruesas) de las variable respuesta en el biplot para el análisis de PC realizado en los datos especificados en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama para el Año 1. Los puntos de datos indican las posiciones en el espacio biplot de las combinaciones del tratamiento de poda y edad de madera. Las flechas finas (líneas, puntos, puntos de rayas) indican las trayectorias, a través de las edades de la madera, para cada tratamiento de poda. Las posiciones de los puntos para las combinaciones de tratamiento de poda/edad de madera que no se pueden visualizar en el diagrama se indican mediante flechas finas vinculadas a las cajas que contienen la etiqueta de combinación.

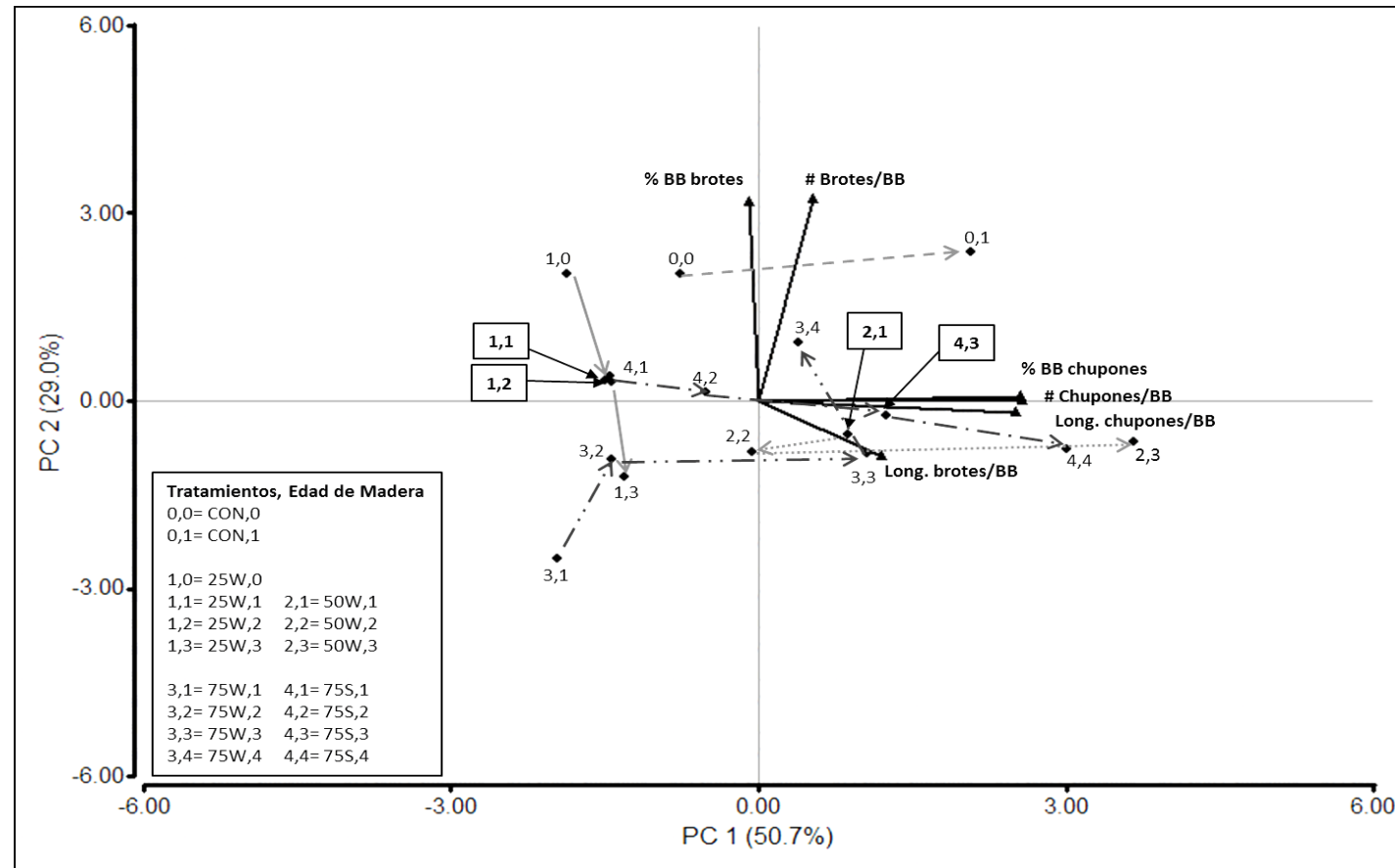


Figura 3.5. Posiciones de los vectores (flechas gruesas) de las variable respuesta en el biplot para el análisis de PC realizado en los datos especificados en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama para el Año 2. Los puntos de datos indican las posiciones en el espacio biplot de las combinaciones del tratamiento de poda y edad de madera. Las flechas finas (líneas, puntos, puntos de rayas) indican las trayectorias, a través de las edades de la madera, para cada tratamiento de poda. Las posiciones de los puntos para las combinaciones de tratamiento de poda/edad de madera que no se pueden visualizar en el diagrama se indican mediante flechas finas vinculadas a las cajas que contienen la etiqueta de combinación.

3.3.3. Floración de retorno de las nuevas ramas

Otra característica de la respuesta de la floración de retorno al tratamiento de poda fue la creciente proporción de brotes de bajo vigor por BB que alcanzó la etapa reproductiva con el tiempo. Los brotes de bajo vigor procedentes de BB comenzaron a florecer 1 año después de la poda (primavera de 2010, Fig. 3.6 a) y su floración aumentó con el tiempo, de modo que la floración en los tratamientos de poda de 25W y 50W fue similar a la del control sin podar 3 años después de la poda (primavera de 2012, Fig. 3.6 c). La floración de los lat-brotes no fue prominente hasta 1 año más tarde que en los brotes de bajo vigor (primavera de 2011; Fig. 3.6 b). Además, la poda severa de verano (75S) no exhibió un porcentaje de BB con floración en los brotes de bajo vigor y lat-brotes similares a los de la poda severa de invierno (75W), hasta 3 años después de la poda (primavera de 2012; Fig. 3.6 c). La floración de los chupones y lat-chupones fue evidente, en niveles muy bajos, 3 años después de la poda en el moderada (50W) y severa de invierno (75W), así como en el tratamiento de verano (75S) pero no en la poda ligera de invierno (25W).

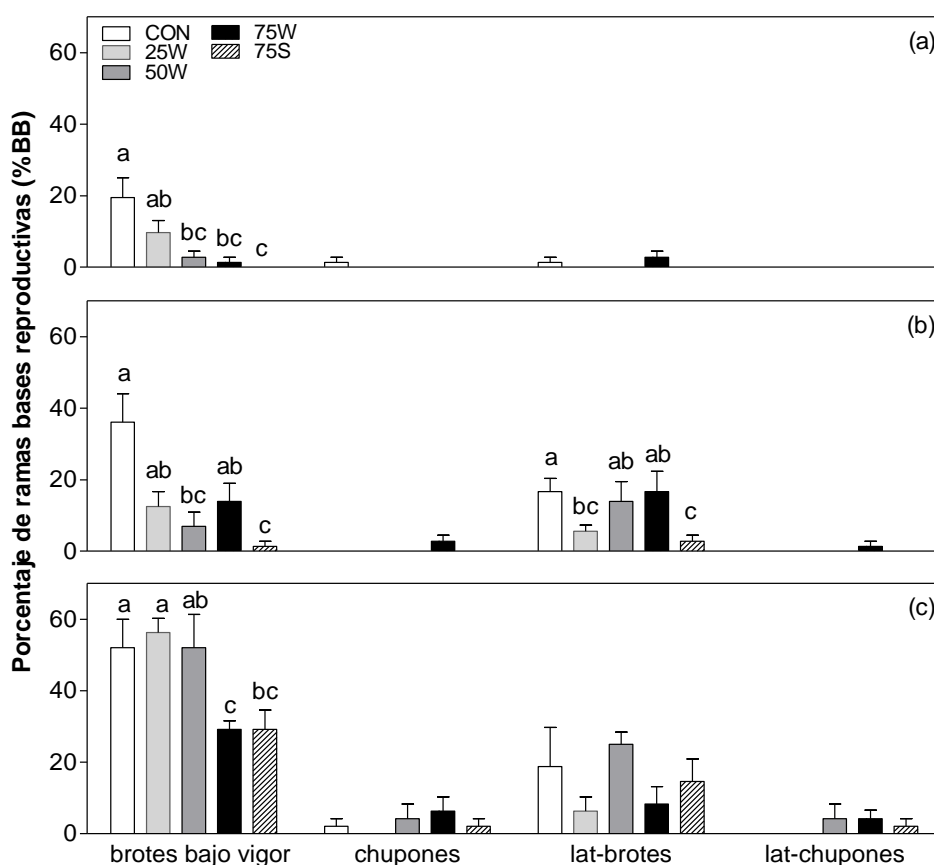


Figura 3.6. Porcentaje de BB que mostraron brotes reproductivos (brotes de bajo vigor, chupones, lat-brotes y lat-chupones). Los datos se representan para el Año 2 (a), Año 3 (b) y Año 4 (c). Cada barra representa el promedio ($n = 6$ árboles) \pm error estándar por tratamiento. Cada árbol tenía 12 BB. Diferentes letras minúsculas al lado de cada barra indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro de cada categoría de rama analizada usando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

3.4. Discusión

El análisis demográfico expuesto en este capítulo para las ramas vigorosas y no vigorosas y su posterior floración de retorno durante tres temporadas después de la poda resaltó diferentes respuestas a las intensidades de la poda mecánica de invierno y la poda mecánica severa de verano. Además, permitió una evaluación de los efectos de la edad de la madera de BB sobre las que se originaron las ramas o brotes nuevos. Estos resultados complementan los publicados por Albarracín *et al.* (2017) y a los expuestos en el Capítulo II, en el que se evaluó la respuesta del rendimiento y sus componentes, y el crecimiento vegetativo en general. Uno de los principales resultados de ese trabajo es que el crecimiento vegetativo aumenta lineal y positivamente con el aumento del área foliar podada ante incrementos en la intensidad de poda de invierno. Además, el retraso de la poda severa al comienzo del verano se asoció con un menor crecimiento vegetativo. En el presente capítulo se analizaron los efectos de la intensidad y momento de poda sobre el tipo de brotes nuevos y su posterior comportamiento reproductivo.

El aumento de la intensidad de la poda mecánica de invierno se asoció con un aumento en el número y la longitud de brotes vigorosos (i.e. chupones y lat-chupones) en comparación con el tratamiento CON no podado y esto se observó durante los 2 años posteriores a la poda (Fig. 3.2). En otros árboles frutales, también se observó un aumento en el número y/o longitud de brotes vigorosos con el aumento de la intensidad de poda manual durante el invierno (mango: Vázquez-Valdivia *et al.*, 2009; duraznero: Bussi *et al.*, 2011; Bevacqua *et al.*, 2012; Bussi *et al.*, 2014; Dalkiliç *et al.*, 2014). Por ejemplo, en durazneros jóvenes de maduración temprana (cultivar Alexandra) sometidos a podas invernales ligeras, moderadas y severas con alta carga de frutos y sin frutos, se observó que el crecimiento de chupones fue aún mayor en los árboles podados severamente con alta carga de frutos que en los árboles sin frutos. El crecimiento de los chupones podría contribuir a restablecer rápidamente el balance raíz-brote alterado mediante la poda de dormición (Bussi *et al.*, 2011). La poda de invierno moderada y severa (50W y 75W) en mi experimento dio como resultado una fracción más alta de BB que generaron chupones y lat-chupones, con un mayor número de ramas vigorosas por BB y más largas que en el tratamiento CON y 25W (poda ligera de invierno) (Fig. 3.2). De manera similar, Bussi *et al.* (2011) utilizando la poda ligera y severa manual en durazneros con alta carga de frutos y sin frutos, encontraron mayor número y longitud de chupones en árboles con alta carga de frutos que en los árboles sin frutos en respuesta a la poda severa de invierno. En cuanto al número y la longitud de los brotes, estos fueron menores cuando la poda fue severa en los árboles con alta carga que en los árboles sin carga, mientras que en olivo el número de brotes disminuyó pero su longitud aumentó con la intensidad de la poda de invierno (Fig. 3.2). Este aumento en la longitud de los brotes podría ser importante porque está relacionado con más sitios potenciales de fructificación por brote (Albarracín *et al.*, 2017). Como señalan Bevacqua *et al.* (2012), la proporción de brotes largos y cortos influyen en la producción de frutos en forma positiva (e.g., duraznero, olivo) o negativa (e.g., cerezo) dependiendo de la especie.

El tratamiento control sin podar generó una cantidad considerable de brotes vigorosos, aunque el crecimiento vegetativo nuevo estuvo dominado por brotes no vigorosos (i.e., 74% BB con brotes de bajo vigor vs 6% BB con chupones, Fig. 3.2), aun cuando la carga de fruta fue alta en el año de poda (Albarracín *et al.*, 2017). El mismo comportamiento se observó en los árboles severamente podados en verano (75S), muy diferentes en términos demográficos de su homólogo de invierno (75W) (Fig. 3.2). La

remoción de ramas o brotes en invierno estimuló la generación de un gran número de chupones largos, lat-chupones y lat-brotes. En contraste, el retraso de la poda hasta principios de verano generó brotes vigorosos y no vigorosos en cantidad y longitud similares a las del tratamiento control (Fig. 3.2). En otras palabras, la poda severa de verano o invierno (75S y 75W) tuvo un impacto diferente, particularmente al nivel de brotes vigorosos.

La edad de BB moduló el tipo de brotes que crecieron sobre ellas en los años subsiguientes (Fig. 3.3). En el Año 1, la edad de madera de BB tuvo un fuerte impacto en el crecimiento de brotes vigorosos (% de BB con chupones y lat-chupones, número de chupones y lat-chupones por BB y su longitud) y lat-brotes (% de BB y número de lat-brotes por BB), independientemente de la intensidad de poda aplicada. Mayor edad de madera en el punto de corte se asoció con más crecimiento de brotes vigorosos y de lat-brotes (Fig. 3.3). Esto también es evidente en el biplot del análisis de PC, que mostró que las edades de madera de 3 y 4 años fueron fuertemente asociadas con todas las variables relacionadas con el crecimiento vigoroso (Fig. 3.4). Castillo-Llanque y Rapoport (2011) midieron el crecimiento apical y lateral en ramas de 5 años de edad en árboles adultos de olivo, pero no clasificaron los brotes laterales según su vigor y la edad de madera en la que crecieron. Por otro lado, Rosati *et al.* (2013) analizaron la arquitectura de setos súper-intensivos de olivo y concluyeron que el cv. Arbequina tiene una alta frecuencia de crecimiento nuevo sobre ramas de 3 años de edad en el que una de cada dos yemas originó una nueva rama. Si bien no aplicaron poda y no clasificaron las ramas nuevas según el vigor, esta respuesta es consistente con el aumento general en el crecimiento vegetativo a medida que aumentó la edad de la madera que yo observé (Fig. 3.4).

En el Año 2, el efecto de la edad de madera siguió siendo un factor importante que afectó al crecimiento de los brotes vigorosos (Fig. 3.5), pero también implicó una respuesta de los brotes no vigorosos. El número de lat-brotes por BB aumentó fuertemente con la edad de madera (Fig. 3.3). También la longitud de los brotes de bajo vigor aumentó 45% en el Año 1 y 72% en el Año 2, ya que la edad de madera de BB en el momento de la poda aumentó de 0 a 4 años, respectivamente (Fig. 3.3). Por el contrario, al nivel de chupones y lat-chupones, los efectos de los tratamientos de poda y edad de madera disminuyeron en Año 2, lo que indica que la fuerte respuesta de los brotes vigorosos a la poda visto en el Año 1 había comenzado a disminuir (Fig. 3.4 y 3.5). Sorprendentemente, en ninguno de los dos años observamos una interacción entre los tratamientos de poda y la edad de madera de BB (datos no presentados). Sin embargo, intensidades crecientes de poda de invierno o de verano determinaron una frecuencia creciente de ramas más viejas que están expuestas después del corte (Cuadro 3.1), generando el elevado crecimiento de los chupones y lat-chupones.

La floración de retorno fue diferente entre los diferentes tipos de brotes, en contraste con el no-efecto sobre los tipos de brotes observados por Castillo-Llanqué y Rapoport (2011). Claramente, los brotes de bajo vigor tuvieron una mayor floración de retorno que los brotes vigorosos, independientemente de los tratamientos de poda (Fig. 3.6). Generalmente se cree que la biosíntesis de giberelina ocurre en tejidos apicales en crecimiento activo (e.g., Elliott *et al.*, 2001) lo que conduciría a una alta concentración de giberelinas en estas ramas vigorosas. A su vez, las giberelinas se han propuesto como posibles inhibidores de la inducción floral en árboles frutales (e.g., Bangerth, 2009). La poda mecánica de invierno o verano afectó la floración de retorno de los brotes nuevos durante las dos primeras temporadas post-podas (Años 2 y 3), y el efecto de poda solo se

diluyó en el Año 4 (Fig. 3.6). También en el cv. Arbequina, Fiorino y Marone (2010) observaron que en el primer año después de la poda, las caras del árbol podado no florecían y en el segundo año sólo 11-26% de las ramas florecían. En este experimento, las variaciones en la floración de retorno dependieron no sólo del tipo de nuevos brotes, sino también, aunque en menor medida, del tratamiento de poda (intensidad o momento de poda) (Fig. 3.6). Por ejemplo, tomando los tres años de observación juntos, el % de brotes de bajo vigor reproductivos disminuyó con el aumento en la intensidad de la poda. Por el contrario, el % de BB con chupones y lat-chupones reproductivos fue algo mayor en los árboles con podas moderada e intensa, especialmente aquellos podados en el invierno (Fig. 3.6). En general, el hecho de que la frecuencia y la longitud de estos brotes vigorosos fueran mayores en 50W y 75W (Fig. 3.2), más su floración de retorno algo superior (Fig. 3.6) ayudan a explicar por qué el rendimiento en estos árboles no fue diferente del control sin podar durante tres años (Albarracin *et al.*, 2017). Por último, la alternancia entre años es otro factor a considerar cuando se analizan las variaciones en la floración de retorno, y que se explica en parte por la inhibición de la inducción floral por la presencia de frutos en la temporada anterior (Stutte y Martin, 1986; Fernández -Escobar *et al.*, 1992).

3.5. Conclusiones

Estos resultados proporcionan información sobre los tipos de brotes y el comportamiento reproductivo subsecuente de los brotes que surgen en respuesta a la intensidad y al momento de poda mecánica, así como a la edad de la madera en los puntos de corte. En pocas palabras, el aumento de la intensidad de poda de invierno se asocia con un mayor crecimiento vegetativo, pero principalmente se explica por un aumento en la frecuencia y longitud de brotes vigorosos, que tienen una menor floración de retorno durante las dos primeras floraciones post-poda. Por lo tanto, en relación con la primera pregunta planteada en la introducción, puedo ahora responder que tanto el aumento de la intensidad de poda como el aumento de la edad de madera afectan la respuesta del crecimiento en olivo. Por otro lado, con respecto a la segunda pregunta, puedo concluir que se necesita al menos tres floraciones de retorno (i.e., cuatro años después de la poda) para observar un aumento significativo en la floración de retorno. Este es el primer informe en el que se describe el comportamiento de las BB residuales en términos de demografía y la floración de retorno después de la aplicación de poda mecánica en árboles de olivo.

Desde el punto de vista del manejo del olivar, la información presentada en este capítulo proporciona un marco para elegir entre las estrategias de poda según el objetivo que se persigue con la poda. Por lo tanto, cuando se requiere una fuerte reducción en el tamaño de los árboles, retrasar la poda intensa al verano evita un excesivo crecimiento después de la poda y produce una frecuencia relativamente baja de ramas vigorosas. Aunque, como señalan Albarracin *et al.* (2017), el rendimiento será afectado adversamente, pero se obtendrá un control efectivo del tamaño de los árboles. Por otro lado, si el objetivo es mantener el tamaño de los árboles y no afectar el rendimiento ni floración de retorno, una poda ligera a moderada permite mantener una baja frecuencia de BB de menos de 4 años de edad, que se demostró que tiene alta frecuencia de crecimiento vigoroso post-poda. En todos los casos, las acciones dirigidas a incrementar la frecuencia de brotes de bajo vigor de pequeños diámetros y, por lo tanto, una mayor floración de retorno serán uno de los objetivos a perseguir mediante la manipulación de

la intensidad y el momento de la poda mecánica. La posibilidad de utilizar compuestos con acción anti-giberelina para promover la inducción floral después de la poda sería algo que vale la pena evaluar. Además, futuros trabajos deberían abordar las cuestiones exploradas en este documento, pero utilizando setos continuos, y contrastar las respuestas a la poda mecánica en años "*off*" versus "*on*".

En el siguiente Capítulo (Cap. IV) se presentarán los resultados de un experimento dirigido a estudiar el efecto de prácticas post-poda sobre la floración de retorno en árboles podados mecánicamente al final del invierno. Las prácticas post-poda evaluadas fueron raleo y despunte de ramas nuevas y la aplicación de un antigiberelico con el objeto de incrementar la floración de retorno al año siguiente de una poda mecánica invernal. Un segundo experimento estuvo dirigido a examinar las respuestas de árboles no podados a un rango de dosis del mismo compuesto inhibidor de giberelinas.

Capítulo IV

Efecto de prácticas post-poda y la aplicación de Cloruro de Mepiquat sobre el crecimiento vegetativo, floración de retorno y rendimiento en árboles de olivo.

Capítulo IV

Efecto de prácticas post-poda y la aplicación de Cloruro de Mepiquat sobre el crecimiento vegetativo, floración de retorno y rendimiento en árboles de olivo.

4.1. Introducción

En el manejo del olivar, las intervenciones con podadoras mecánicas resultan necesarias para mantener el tamaño apropiado de la copa en setos de alta densidad donde la cosecha se realiza mecánicamente (Gucci y Cantini, 2000; Lavee, 2007; Rius y Lacarte, 2010; Dias *et al.*, 2012; Connor *et al.*, 2014; Tombesi *et al.*, 2014). En este sentido, el estado del arte relacionado con la poda mecánica se centra en la eficiencia de las máquinas de poda y cosecha, pero se prestó mucha menos atención al estudio de las respuestas fisiológicas al corte y al análisis de posibles prácticas de manejo post-poda o alternativas que podrían utilizarse para acelerar la transición de las nuevas ramas vegetativas a reproductivas. Por lo tanto, existe la necesidad de explorar prácticas post-poda que puedan mejorar el comportamiento reproductivo y controlar el crecimiento de las nuevas ramas luego de una poda. Algunas de las prácticas post-poda que podrían incrementar el cambio de estado de las nuevas ramas vegetativas a reproductivas podrían ser el despunte de ramas nuevas, el raleo de ramas vigorosas y la aplicación de reguladores de crecimiento.

La poda de despunte (tip-heading) limita la dominancia apical y estimula la ruptura de nuevos brotes cerca del punto de corte (Mika, 1986). A nivel fisiológico, el despunte genera un desequilibrio hormonal en la rama al eliminar los ápices donde se producen auxinas, responsables del mantenimiento de la dominancia apical. Sin embargo, la intensidad de esta respuesta varía en función de la distancia desde el ápice en la cual se realiza el corte y el grado de desarrollo de las hojas eliminadas, siendo las respuestas más fuertes cuando se eliminan las hojas jóvenes (Mika, 1986). El despunte se ha utilizado como una práctica para promover la floración y aumentar el rendimiento en algunos árboles frutales. Por ejemplo, en manzano el despunte de ramas de un año de edad en la etapa de yema dormida incrementa la cantidad de yemas florales de la siguiente temporada (Mohammadi *et al.*, 2013). También, el despunte realizado durante el verano y la eliminación solamente de la porción terminal de las ramas ha sido señalado como un promotor de la floración de retorno en manzano y duraznero (e.g., Miller, 1982; Marini, 1986), probablemente debido a una mejora en el balance de carbono de las ramas residuales, debido a que normalmente los ápices son fuertes destinos de asimilados (Corelli-Grappadelli *et al.*, 1994). Sin embargo, con la eliminación de los ápices vegetativos, también se alteran la producción de giberelinas principalmente (Mika, 1986) y de auxinas y citocininas (Saure, 1992; Tworkoski *et al.*, 2006) y en la mayoría de las angiospermas leñosas estas hormonas parecen inhibir la inducción floral (Bangerth, 2009). Por lo tanto, la información sobre el uso del despunte como un medio para mejorar la floración de retorno es contradictoria, y la utilización de ella como una práctica de post-poda para favorecer la floración de retorno en el olivo no ha sido previamente evaluada.

Por otro lado, el raleo (thinning) es un tipo de poda manual y selectiva que implica la eliminación de ramas vigorosas, enfermas o mal ubicadas manteniendo intacta la dominancia apical de las ramas remanentes (Mika, 1986; Gucci y Cantini, 2000). Como resultado, el nuevo crecimiento se produce en las puntas de los brotes inalterados mientras que el desarrollo de las yemas laterales se suprime debido a una mayor competencia entre los frutos remanentes y los ápices en crecimiento (Gucci y Cantini, 2000; Fumey *et al.*, 2008, 2011). Esto a su vez se asociaría con una mayor floración de retorno de la siguiente campaña (Arjona y Santinoni, 2007). En duraznero, Bussi *et al.* (2011) proponen realizar el raleo de ramas vigorosas en verano después de una poda severa de invierno para mejorar la iluminación de la fruta en desarrollo y mejorar su tamaño y calidad. Sin embargo, no hay evidencia de que el raleo realizado después de una severa poda de invierno mejore la floración de retorno en duraznero u olivo.

Otra técnica que permite controlar el crecimiento vegetativo excesivo y mejorar la floración de retorno al año siguiente es la aplicación de inhibidores de síntesis de giberelinas (AG_s). En árboles frutales de pepita (e.g., manzano y peral), se usan ampliamente compuestos que restringen o controlan el crecimiento de los árboles mediante la inhibición de la síntesis de AG_s (e.g., Meilan, 1997; Rademacher, 2000). Asimismo, las AG_s producidas en las raíces y en los brotes en crecimiento activo parecen influir en la inducción floral (Davenport, 1990; Fernández-Escobar *et al.*, 1992; Goldschmidt *et al.*, 1998; Mutasa-Göttgens y Hedden, 2009). La aplicación foliar de paclobutrazol, uniconazol y prohexadiona-Ca inhibió el crecimiento vegetativo en especies como mango, palto, manzano y peral e incrementó la floración y el rendimiento (Greene, 1991; Rai y Bist, 1992; Meilan, 1997; Mena *et al.*, 2003; Yeshitela *et al.*, 2004; Asin *et al.*, 2007). En olivo, los primeros informes mostraron respuestas parciales o nulas del efecto del paclobutrazol sobre la inhibición del crecimiento de brotes y/o incrementos en la densidad de inflorescencias y rendimiento (Navarro *et al.*, 1989; Fernández-Escobar *et al.*, 1992; Lavee y Haskal, 1993). Sin embargo, trabajos más recientes demostraron que tanto la aplicación foliar o al suelo de paclobutrazol y uniconazol controló el crecimiento vegetativo en los cultivares de olivo Barnea, Koroneiki y Arbequina (Avidan *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2009, 2012; Moreira *et al.*, 2016). En algunos casos estas aplicaciones también tuvieron un efecto positivo en la floración, pero en otros el aumento en la floración y el rendimiento fue irregular. Por lo tanto, hay varios estudios sobre las respuestas a los inhibidores del crecimiento, pero su uso como un tratamiento post-poda para restringir el efecto vigorizante de la poda y aumentar la floración de retorno de las nuevas ramas no ha sido evaluado.

Otro inhibidor de la síntesis de AG_s, es el cloruro de mepiquat (CM) que bloquea la síntesis de *ent*-kaurene, precursor de los primeros pasos del metabolismo de AG_s (Rademacher, 2000). El CM ha sido ampliamente utilizado para controlar el crecimiento vegetativo en algodón (Rademacher, 2000), pero ha sido escasamente utilizado en árboles frutales. Con el aumento de las restricciones en el uso de paclobutrazol en varios países, existe un creciente interés en probar otros inhibidores de AG_s (Rademacher, 2016). Stino *et al.* (2010) aplicaron sobre árboles de 15 años dosis foliares crecientes (500, 1000, 1500 y 2000 ppm) de CM a fines de primavera a olivos con alta carga de frutos y las compararon con plantas en las que se raleó el 25 o el 50% de los frutos. Ellos observaron que todos los tratamientos incrementaron la densidad de flores y rendimiento al año siguiente (año "off") con respecto al control sin tratar en los cultivares Manzanilla y Picual. Si bien estos resultados son promisorios se necesita más información sobre el uso de CM en diferentes condiciones climáticas, dosis, cultivares y estadios fenológicos. En

este sentido, diseñé un experimento que implica la aplicación de un rango de dosis de CM sobre árboles del cultivar Arbequina cuyo objetivo era responder a la pregunta si la inhibición de la inducción de yemas florales es causada por las altas concentraciones de AG_s que se sintetizan cuando hay alta carga de frutos (año “on”), que inhiben la inducción floral en la siguiente temporada (año “off”), además de establecer respuestas a la dosis de CM y a la forma de aplicación. Se observó previamente que el tipo de rama que se desarrolla después de la poda influye en la floración de retorno de los olivos (Albarracín *et al.*, 2018; Capítulo III, sección 3.3.3, Fig. 3.6). Determinar el efecto del despunte, raleo e inhibidores de AG_s sobre el número y longitud de ramas de bajo vigor y de ramas vigorosas (i.e. brotes y chupones), y su posterior comportamiento reproductivo en los árboles podados mecánicamente permitiría elegir las mejores estrategias de manejo post-poda para mejorar el rendimiento y controlar el crecimiento vegetativo. Los dos experimentos descritos en este capítulo fueron orientados a responder a las siguientes preguntas: (1) ¿el despunte de ramas, el raleo de ramas vigorosas y/o la aplicación de CM a principios de verano en árboles previamente podados en invierno incrementan la producción de yemas florales en la siguiente primavera?; (2) ¿cuál es la dosis óptima de CM, en árboles sin podar que incrementará la producción de yemas florales en el año “off”?

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Experimento de prácticas post-poda.

El experimento fue conducido durante dos estaciones de crecimiento entre agosto de 2011 y abril de 2013 en una finca comercial de olivo (*Olea europaea* L. var. “Arbequina”) ubicada a 20 km al norte de la ciudad de La Rioja, Argentina (latitud 29° 17' S, longitud 66° 45' W; 444 msnm). Al inicio del experimento, las plantas tenían 5 años de edad con una orientación de fila norte-sur. La distancia entre árboles fue de 6 m dentro de las filas y 8 m entre las filas. El suelo era de textura franco arenoso con un perfil profundo y homogéneo. Se puede encontrar una descripción más detallada de las condiciones climáticas de la zona en la sección 2.2.1 del Capítulo II (Albarracín *et al.*, 2017).

En este estudio se utilizaron árboles de tamaño mediano, bastante jóvenes, para simular la poda mecánica, ya que las mediciones detalladas de setos muy grandes de 5 m de altura desarrollados a bajas densidades (200-400 árboles ha⁻¹) no son prácticas (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012). Al inicio del estudio, previo a la poda, la profundidad del canopeo y el diámetro de la copa de los árboles fueron 2.10 m y 1.72 m, respectivamente. La profundidad del canopeo se definió como la altura del árbol menos la distancia de las hojas más bajas de la copa y el suelo. Se estimó que el volumen inicial de la copa era de aproximadamente 3.3 m³ antes de que se impusieran los tratamientos de poda. La estimación se basó en la suposición de que el árbol era de forma semiesférica ($V = \frac{2}{3} \pi r^2 H$) (Del Río *et al.*, 2005), siendo r el radio y H la profundidad del canopeo.

Se seleccionaron dieciséis árboles en un año “on” con alta carga de frutos en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones por tratamiento. La poda se realizó en los 16 árboles seleccionados al final del invierno (30 de agosto de 2011). La misma se realizó con tijeras podadoras y podones manuales, a ambos lados de la copa (E y W) a 60 cm ± 5 cm de la superficie exterior de la copa imitando el trabajo de la podadora mecánica

(metodología descrita en el Cap. II, sección 2.2.1; Albarracín *et al.*, 2017). La intensidad de poda en todos los árboles fue del 40% del volumen de copa original del árbol (estimado al comparar el volumen de copa podado con el volumen original). Todos los árboles fueron irrigados para satisfacer el 100% de la evapotranspiración del cultivo (K_c de 0.7 para los meses de mayor demanda y 0.4 para los meses de menor demanda) (Rousseaux *et al.*, 2009). La irrigación fue suministrada por cuatro goteros por árbol usando una línea de riego (4 l h^{-1}).

Se aplicaron tres tratamientos post-poda: despunte de ramas nuevas (PH), raleo de ramas vigorosas (PT) y la aplicación de cloruro de mepiquat (PCM). El tratamiento de control de la poda (PC) recibió la misma poda invernal pero no el tratamiento post-poda, mientras que el control no podado (C) correspondió a árboles sin podar similares a los tratamientos podados. Los tratamientos post-poda fueron aplicados en endurecimiento del endocarpio a fines de primavera (13 de diciembre de 2011), cuatro meses después de la poda mecánica de invierno (30 de agosto de 2011). El despunte (PH) se realizó sobre todas las ramas nuevas (i.e., sobre las BB marcadas y no marcadas) de todos los puntos de corte de los lados este y oeste de cada árbol tratado. El término "rama de base" (BB) se refiere a la estructura de soporte leñosa subyacente justo debajo del punto de poda (Fig. 3.1). El despunte implicó la eliminación del ápice y el primer par de nudos que tenían hojas de 1.5 cm de longitud o menos. El raleo de las nuevas ramas (PT) se realizó sobre todas las BB (marcadas y no marcadas) en los lados este y oeste de cada árbol tratado. En cada BB, se eliminó el 50% de los chupones nuevos. En los pocos casos en que no hubo chupones pero sí brotes, se eliminó el 50% de los brotes nuevos. Como se describe en la sección 3.2.2 del Cap. III, los chupones son ramas vigorosas de crecimiento vertical con entrenudos largos y de 3 a 4 hojas redondeadas por nudo. En contraste, los brotes son ramas de crecimiento horizontal con entrenudos cortos y 2 hojas alargadas por nudo. Las ramas vigorosas fueron eliminadas ya que generalmente resultan en mayor crecimiento y menor floración de retorno (Albarracín *et al.*, 2018; sección 3.3.3 del Capítulo III). El tratamiento PCM (cloruro de mepiquat, nombre comercial Pix, BASF, Argentina) fue aplicado vía foliar (3.5 l de la preparación por árbol) a una concentración de 1500 ppm más aceite mineral como coadyuvante al 0.025% para mejorar la adhesión del producto a las hojas. La dosis se eligió sobre la base del trabajo publicado por Stino *et al.*, (2010). Se aplicó una vez en ambas caras podadas de los árboles tratados usando una pulverizadora de pistola. Elegimos CM porque los resultados con los otros inhibidores de AG_s en el crecimiento, la floración de retorno y el rendimiento de frutos fueron contradictorios. Además el CM está registrado y disponible en el país (es ampliamente utilizado en el algodón) y los primeros informes sobre el uso de CM en olivos eran prometedores (Stino *et al.*, 2010).

4.2.2. Porcentajes de ramas nuevas, número, longitud y floración de retorno.

Se seleccionaron 12 ramas base (BB) por árbol podado para cuantificar el crecimiento vegetativo. Se marcaron seis BB en cada uno de los dos lados podados por árbol seleccionando tres ramas en cada una de las dos alturas (1 y 2 m sobre el suelo). En los árboles de control (C), se seleccionaron 12 ramas bien iluminadas de un diámetro similar al de las BB marcadas en los árboles tratados. Las ramas nuevas producidas durante la primera estación de crecimiento se cuantificaron entre el 13 y el 15 de septiembre de 2012. Las ramas nuevas se clasificaron en cuatro tipos: brotes, brotes laterales (lat-brotes), chupones y chupones laterales (lat-chupones) (Fig. 3.1). Todo nuevo

crecimiento se determinó sobre las 12 BB marcadas por árbol. La floración de retorno de los diferentes tipos de ramas generadas por la poda se cuantificó en la siguiente primavera, un año después de la poda inicial (septiembre de 2012).

4.2.3. Rendimiento y sus componentes.

Al final de las temporadas de crecimiento 2011-2012 (Año 1, año de poda y tratamientos post-poda) y 2012-2013 (Año 2: año de floración de retorno), los árboles se cosecharon manualmente cuando la observación visual indicó que los frutos estaban en la etapa de madurez de envero (Beltrán *et al.*, 2004). El envero se utilizó para aproximar la fecha en la cual el fruto alcanzó la máxima concentración de aceite. A partir del rendimiento de fruta fresca de cada árbol individual (kg árbol^{-1}), se llevó una muestra de 2 kg al laboratorio en una conservadora donde se determinó el peso fresco de una sub-muestra de 100 frutos. Luego la fruta se secó en un horno durante 6 días a 70°C , y el peso individual de los frutos se calculó en base al peso fresco y seco. El número total de frutos por árbol se estimó dividiendo el peso total de fruta fresca por árbol por el peso promedio individual de fruta fresca. El índice de madurez de la fruta (IM, Beltrán *et al.*, 2004) se determinó en otra sub-muestra de 100 frutos clasificando la fruta en una escala de 0-7 según el color de la piel y la pulpa. El IM fue aproximadamente consistente con la observación visual del fruto que estaba en envero (i.e., IM de 2 o 3). El promedio de IM fue 3.5 para el Año 1, y 2.8 para el Año 2. No hubo diferencias en el IM entre los tratamientos post-poda y el control.

El experimento planteado permitió responder a la pregunta de si la inhibición de yemas florales al año siguiente de la poda (año *off*) está asociada con la proliferación de los ápices en activo crecimiento. Presumiblemente, este efecto podría estar mediado por las giberelinas producidas por las yemas en activo crecimiento.

4.2.4. Experimento de evaluación de dosis de Cloruro de Mepiquat

Debido a la falta de información sobre el uso de cloruro de mepiquat (CM) en los árboles de olivo, se realizó un segundo experimento para evaluar las respuestas a la dosis y la forma de aplicación de CM. El experimento fue conducido en la misma finca comercial del experimento principal, utilizando árboles de tamaño similar a los utilizados en el experimento post-poda.

Se seleccionaron 20 árboles individuales del cultivar Arbequina con una gran carga de frutos ($> 3400 \text{ frutos m}^{-3}$, un año de carga "*on*"). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 4 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en aplicar dosis foliares crecientes de CM más un coadyuvante natural al 0.025% para mejorar la adherencia del producto a las hojas y una aplicación en el suelo junto con el agua de riego. Las dosis se eligieron sobre la base del trabajo publicado por Stino *et al.*, (2010). Los tratamientos fueron: 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000), aplicación de suelo (CMSuelo) y un control sin CM (CM0). Los gramos de principio activo de CM aplicados por árbol fueron 4, 8, 12 y 0.2 g árbol^{-1} para CM1000, CM2000, CM3000 y CMSuelo respectivamente. Se aplicaron aproximadamente 4 litros del caldo preparado por árbol y en CMSuelo 1 litro de caldo distribuido en los goteros. Los árboles del tratamiento CM0 (control) se pulverizaron con

agua solamente. Para todas las aplicaciones foliares, los árboles fueron pulverizados por toda la copa, mientras que para CMsuelo el producto se aplicó debajo de los goteros de riego. La aplicación de CM se realizó a principios del verano de 2011 (20 de diciembre de 2011), cuando el endocarpio se lignificó.

Luego de la aplicación de CM, se colocaron telas debajo de las copas de los árboles para recolectar hojas y frutos caídos. Las hojas y frutos caídos se recolectaron cada 15 días hasta fines de enero de 2012. La cantidad de hojas y frutos caídos fue de ~ 50 g por árbol y no se observó ninguna diferencia entre los tratamientos (datos no presentados). El riego de estos árboles se controló como en el experimento post-poda.

El crecimiento vegetativo se cuantificó sobre 8 ramas por árbol (dos por orientación) de una longitud promedio inicial de 20-25 cm. En las mismas se cuantificó el número de yemas vegetativas y reproductivas y el número de hojas por rama en enero y septiembre de 2012, y en la última medición también se contó el número de inflorescencias por rama. En este experimento, en el que los árboles no fueron podados, la mayoría de las ramas nuevas correspondieron a la categoría de brotes, por lo que no se realizó ninguna clasificación de ramas. Las variables analizadas fueron la elongación de los brotes, el incremento en el número de nudos y hojas entre ambas fechas de medición. Al final de las estaciones de crecimiento 2011- 2012 (Año 1, abril 2012) y 2012-2013 (Año 2, abril 2013), los árboles fueron cosechados manualmente cuando la observación visual indicó que los frutos estaban en la etapa de madurez de envero. La metodología utilizada para la cosecha fue la misma descrita para el experimento de post-poda (sección 4.2.3).

Este experimento permitió responder al interrogante si la inhibición de la inducción de yemas florales es causada por las altas concentraciones de AG_s que se sintetizan cuando hay una elevada carga de frutos (año *on*), las que inhibirían la inducción floral en la temporada siguiente (año *off*).

4.2.5. Análisis estadísticos de los datos

En el experimento de post-poda, las variables de respuesta consideradas fueron: % de BB con ramas nuevas, # de ramas nuevas por BB y longitud promedio de ramas nuevas por BB. Dichas variables fueron sometidas a ANOVA para cada tipo de rama y las diferencias entre medias fueron analizadas con el test LSD con un valor de $p < 0.05$. Los datos fueron transformados logarítmicamente [$\log Y$ o $\log (Y+1)$] antes del análisis cuando la distribución no fue normal. Los análisis fueron realizados con InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014).

Para los experimentos de post-poda y dosis de CM las variables reproductivas consideradas fueron % de ramas reproductivas por BB y # de yemas reproductivas para cada tipo de rama nueva. El % de ramas reproductivas por BB no siguió una distribución normal y se compararon mediante el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis para cada tipo de rama por separado. Los resultados de rendimiento se analizaron a través de modelos lineales generales y mixtos para medidas repetidas en el tiempo debido a que las observaciones compartieron el mismo criterio de estratificación (i.e., árbol individual) durante los 2 años de medición. Debido a la existencia de interacción entre los tratamientos y años de medición, se realizó un ANOVA para cada año por

separado y las inferencias entre medias se realizaron utilizando la prueba de LSD con un nivel de significancia de 0.05. Los resultados de crecimiento vegetativo se analizaron mediante un ANOVA y las inferencias entre medias se realizaron utilizando la prueba de LSD con un nivel de significancia de 0.05.

4.3. Resultados

4.3.1. Experimento de prácticas de post-poda

El peso seco de ramas y hojas eliminadas con la poda mecánica fue similar entre tratamientos (datos no presentados). Se eliminó en promedio 11.4 ± 0.42 kg de biomasa por árbol en PC, PH, PCM y PT, respectivamente. Esta biomasa removida representó el 40% del volumen de copa para todos los tratamientos debido al ajuste de la distancia eliminada desde la superficie externa de la copa (Cuadro 4.1). Al final del segundo año, el volumen de copa aumentó significativamente ($p < 0.05$) en PC y PCM, mientras que no se observó ningún cambio en el resto de los tratamientos, incluido el control sin podar.

Cuadro 4.1: Volumen del árbol medido en el Año 1 y Año 2, y el cambio en el volumen del árbol entre años. El tratamiento fue: control sin podar (C), control de poda de invierno (PC), poda de invierno + despunte de verano (PH), poda de invierno + raleo de chupones en verano (PT) y poda de invierno + aplicación de cloruro de mepiquat en verano (PCM). El diseño fue un bloque completo al azar ($n = 4$). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) dentro de cada año.

Tratamientos	Volumen de copa post-poda (m ³)		Cambio en volumen (m ³)
	Año 1	Año 2	
C	3.21 ± 0.56 a	3.32 ± 0.27 a	0.11 ± 0.42
PC	2.01 ± 0.37 b	2.54 ± 0.26 b	0.53 ± 0.48
PH	1.97 ± 0.22 b	1.85 ± 0.20 c	-0.12 ± 0.19
PT	2.05 ± 0.49 b	2.04 ± 0.16 bc	-0.01 ± 0.49
PCM	1.97 ± 0.46 b	2.40 ± 0.16 bc	0.43 ± 0.37

4.3.1.1. Porcentajes de ramas nuevas, número, longitud.

Ocho meses después de la poda, el % de BB con brotes fue bastante elevado en los árboles sin podar (C) y significativamente mayor ($p < 0.05$) que en los árboles podados (PC, PH, PT, PCM) (Fig. 4.1 a). Aproximadamente el 90 y 60% de las BB marcadas presentaron brotes en los árboles sin podar y podados, mientras que no se observaron diferencias entre las prácticas de post-podas. Por otro lado, el número promedio de brotes por BB fue de 1 en los árboles sin podar y de 2.2 en los árboles podados sin diferencias entre los tratamientos de post-poda (Fig. 4.1 b). Por último, la longitud media de los brotes fue de 26 cm en los árboles sin podar y solo la mitad en los árboles podados, sin diferencias entre los tratamientos de post-poda (Fig. 1 c).

En cuanto a las ramas vigorosas, los árboles podados exhibieron chupones en aproximadamente el 6% de las BB marcadas, mientras que ningún chupón se observó en los árboles sin podar (Fig. 4.1 a). El número de chupones por BB se vio afectado por los tratamientos de post-poda (Fig. 4.1 b), con ~ 1.4 chupones por BB en PC y PH, solamente

0.4 chupones por BB en PT y cantidades intermedias en PCM. Como era de esperar, los chupones fueron más largos que los brotes con una longitud promedio de 38 cm, sin que se observara ninguna diferencia en la longitud entre los tratamientos de post-poda (Fig. 4.1 c).

Contrariamente a lo observado para las ramas de primer orden (i.e., brotes y chupones), las categorías de ramificación lateral se vieron afectadas por los tratamientos de post-poda y no por la poda. El 54% de las BB observadas del tratamiento PH exhibió lat-brotes, el control sin poda mostró % intermedios y solo el 24% de las BB generaron lat-brotes en PC, PT y PCM (Fig. 4.1 a). En la misma dirección, el número de lat-brotes por BB fue 11 para PH, y solo 2.7 para C, PC y PCM, con valores intermedios para PT (Fig. 4.1 b). Además, los lat-brotes fueron un poco más largos en PH que en PT y PCM. En relación a los lat-chupones, solo el número por BB se vio afectado por los tratamientos de post-poda en PH con 8 lat-chupones por BB, PT alrededor de 5 y PC y PCM solamente 3 lat-chupones por BB (Fig. 4.1 b).

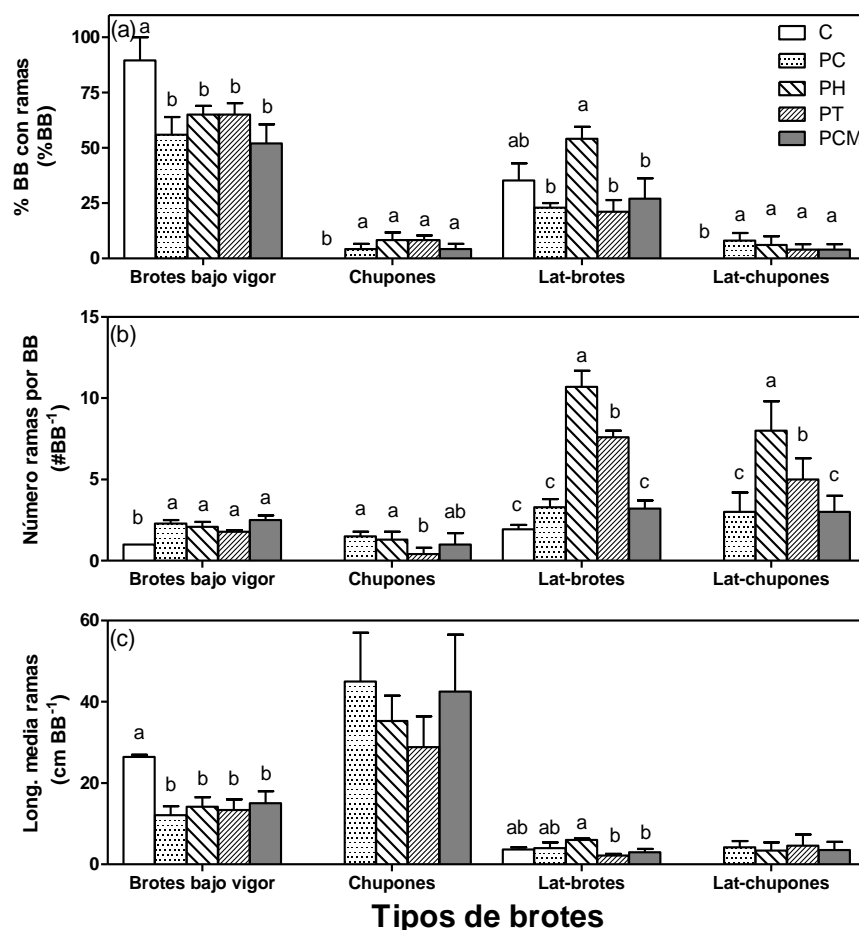


Figura 4.1. Porcentaje de ramas bases (BB) con nuevos brotes, chupones, lat-brotes, y lat-chupones (a), número de brotes de cada categoría por BB (b), y longitud media de las brotes de cada categoría por BB (c), medidos entre el 13-15 de septiembre de 2012. Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento del endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de poda mecánica). Los tratamientos fueron PC

(poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat) y un control sin poda (C). Las variables de respuesta fueron medidas sobre 12 BB por árbol (6 en cada lado podado, marcados post-poda). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tipo de ramificación ($p < 0.05$).

4.3.1.2. Floración de retorno de las nuevas ramas post-poda

El % de BB con brotes reproductivos se vio significativamente afectada por el tratamiento de poda. El 40% de las ramas marcadas se volvieron reproductivas en los árboles sin podar, en contraste con no más del 5% en los árboles podados sin diferencia entre los tratamientos de post-poda (Fig. 4.2 a). De manera similar, el número de inflorescencias fue mayor en los árboles sin podar que en los podados sin diferencia entre los tratamientos de post-poda (Fig. 4.2 b). En general, el número de inflorescencias fue relativamente bajo (8 para los árboles sin podar y 1.6 en los podados) en comparación con el número total de yemas debido a que se trataba de un año “*off*”. Los tratamientos de poda y post-poda afectaron la floración de retorno de los lat-brotes y lat-chupones. En ambos casos, el tratamiento PC tenía un porcentaje más alto de lat-brotes y lat-chupones reproductivos y mayor número de inflorescencias que el control sin poda (C), mientras que el tratamiento PCM tenía valores más altos que el resto de los tratamientos de post-poda, particularmente en el caso de los lat-chupones (Fig. 4.2 a y b).

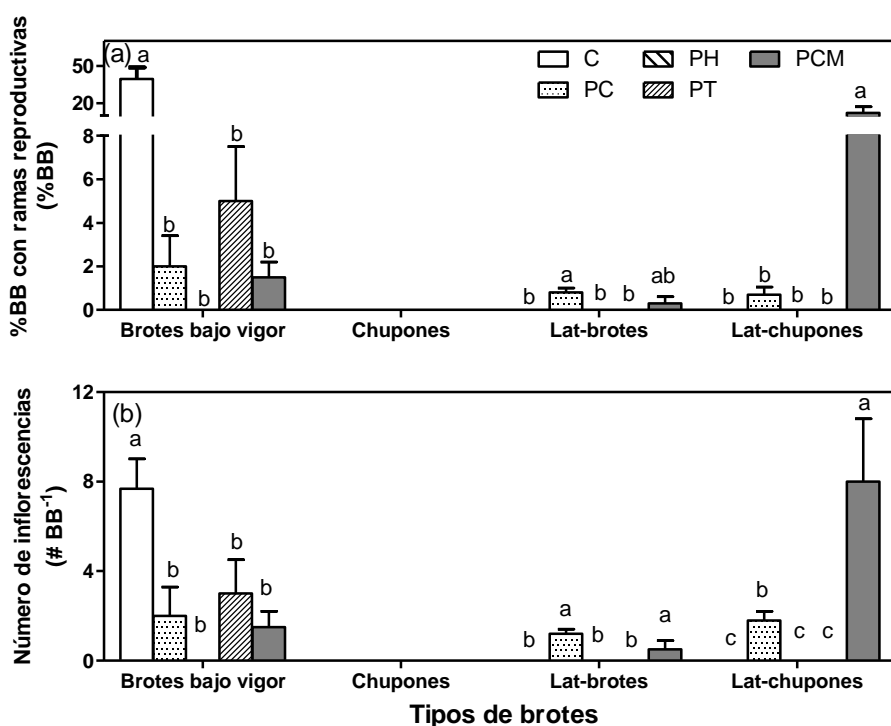


Figura 4.2. Porcentaje de BB con al menos una inflorescencia (a) y número de inflorescencias por BB (b) generados en los brotes, chupones, lat-brotes, y lat-chupones, crecidos en el punto de poda después de la poda mecánica de invierno, medidos entre 13-15 de septiembre de 2012. Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento del endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de poda mecánica). Los tratamientos fueron PC (poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), PCM (aplicación de cloruro de mepiquat) y un control sin poda (C). Las variables de respuesta fueron medidas sobre 12 BB por árbol (6 en cada lado podado, marcados post-poda). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tipo de ramificación ($p < 0.05$). Los datos se analizaron con el test de Kruskal Wallis.

4.3.1.3. Rendimiento y sus componentes.

En el Año 1 (abril de 2012), el rendimiento por árbol mostró valores más altos para el control sin podar que para los árboles podados en invierno, particularmente en el caso de los árboles que recibieron un segundo corte a principios del verano asociado con los tratamientos de post-poda (i.e., PH y PT) (Fig. 4.3 a). El rendimiento disminuyó de $24.68 \text{ kg árbol}^{-1}$ a $14.39 \text{ kg árbol}^{-1}$ en PT. Se observaron diferencias no significativas entre los tratamientos para el número de frutos por árbol, aunque la tendencia fue similar a la del rendimiento (Fig. 4.3 b). Además, cuando se midieron el rendimiento y el número de frutos por unidad de volumen de copa, no hubo diferencias entre los tratamientos para ninguna de las dos variables (Fig. 4.3 c y d).

En el Año 2 (abril de 2013), el rendimiento y el número de frutos por árbol se vieron significativamente afectados por las prácticas de poda y de post-poda. Al igual que en el Año 1, los árboles sin podar tuvieron un rendimiento por árbol mayor que PH y

PCM, pero C no tuvo diferencias con PC y PT (Fig. 4.3 a). Dentro de los árboles podados en invierno, el tratamiento PT produjo $21.1 \text{ kg árbol}^{-1}$, un valor que excedió en un 40% a PH, mientras que los otros dos tratamientos tuvieron valores intermedios. El número de frutos por árbol fue de 26819 en PT, aproximadamente un 30% más que en los árboles no podados, PH y PCM, mientras que fue intermedio en PC (Fig. 4.3 b). Sorprendentemente, cuando el rendimiento se expresó por unidad de volumen de copa, PT fue significativamente mayor que el resto de los tratamientos (Fig. 4.3 c). El rendimiento en PT fue de 10.6 kg m^{-3} , aproximadamente un 30% más que el resto de los tratamientos. Además, la densidad de frutos en PT fue de 13494 frutos por m^3 , aproximadamente un 50% más alta que el resto de los tratamientos (Fig. 4.3 d).

El peso seco individual de los frutos (media de 0.7 g fruto^{-1}) no se vio afectado por la poda ni por los tratamientos post-poda en el Año 1 (Fig. 4.4). Por otro lado, el peso seco de los frutos en el Año 2 fue mayor en el control sin podar que en los árboles podados. El peso de los frutos fue 0.7 g fruto^{-1} para C, mientras que solo $0.53 \text{ g fruto}^{-1}$ en el resto de los tratamientos (i.e., PC, PH, PT, PCM).

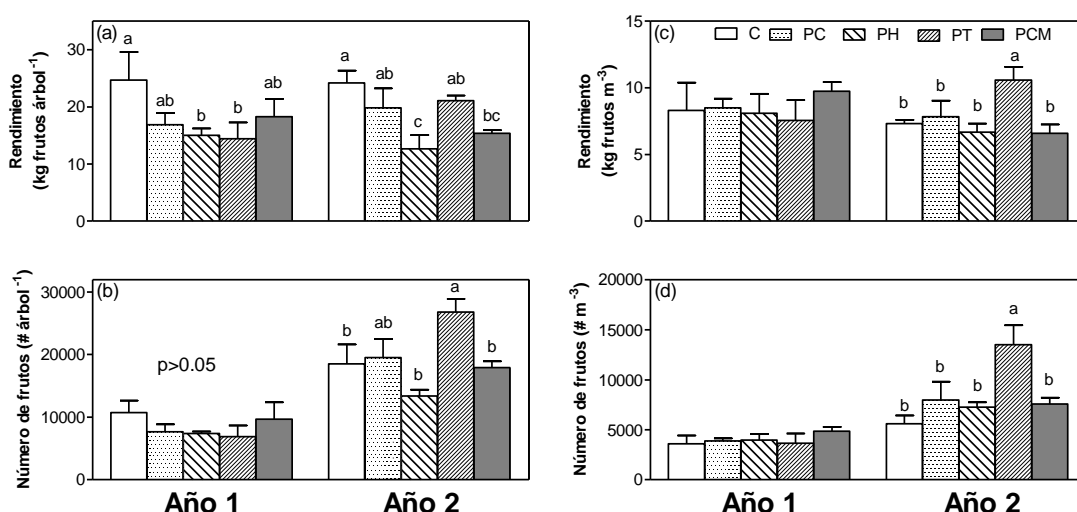


Figura 4.3: Rendimiento de frutos por árbol (kg árbol^{-1}) (a), número de frutos por árbol ($\# \text{ árbol}^{-1}$) (b), rendimiento de frutos por unidad de volumen de la copa (kg m^{-3}) (c) y número de frutos por unidad de volumen de la copa ($\# \text{ m}^{-3}$) (d) medidos en el Año 1 (abril de 2012, año de poda y de tratamientos post-poda), y 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento de endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de la poda mecánica). Los tratamientos fueron: C (control sin poda), PC (control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

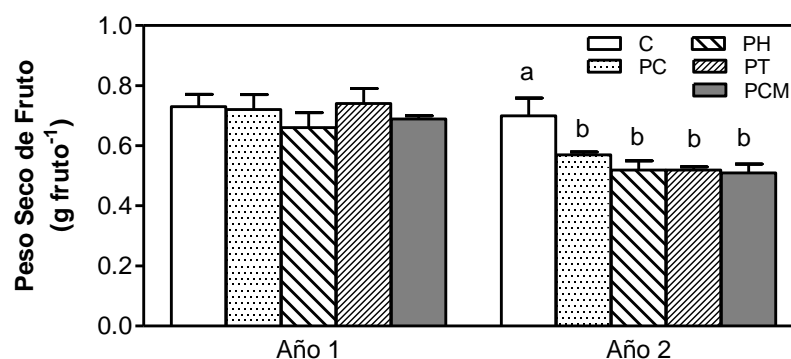


Figura 4.4: Peso seco del fruto medido en el Año 1 (abril de 2012, año de poda y de tratamientos de post-poda), y Año 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron aplicados en endurecimiento de endocarpio (13 de diciembre de 2011) sobre los árboles podados el 30 de agosto de 2011 (imitando los efectos de la poda mecánica). Los tratamientos fueron: C (control sin poda), PC (poda control), PH (despunte del nuevo crecimiento), PT (raleo de chupones), y PCM (aplicación de cloruro de mepiquat). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

4.3.2. Experimento de evaluación de dosis de Cloruro de Mepiquat.

Contrariamente a lo que se esperaba, los árboles tratados con CM ya sea por aplicación foliar o en el suelo mostraron mayores incrementos en el crecimiento apical de los brotes ($p < 0.05$) que el control (CM0; Fig. 4.5 a). La misma tendencia se observó en el número de nudos y hojas en los árboles tratados con CM respecto del control (Fig. 4.5 b y c). Las diferencias en respuesta de estas variables a las dosis de CM fueron menores, aunque a veces fueron significativas ($p < 0.05$).

El % de brotes reproductivos y el número de inflorescencias por brote tendieron a aumentar con las dosis de CM foliar (Fig. 4.6 a y b), y estos efectos fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores en el tratamiento CM3000 que el control. Además, en el tratamiento CM3000 el número de inflorescencias por brote (10) fue dos veces mayor que el observado en el tratamiento CM0 (Fig. 4.6 b).

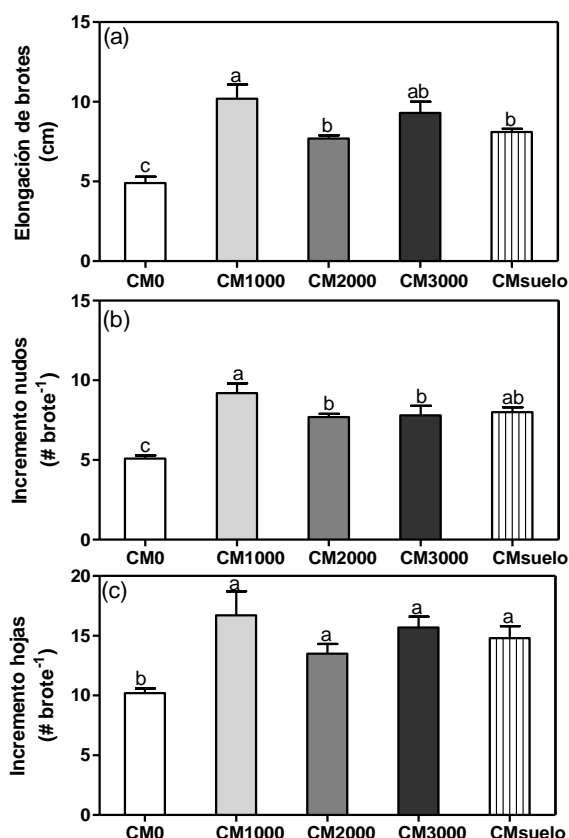


Figura 4.5. Elongación media de brotes (a), incremento del número de nudos (b) e incrementos en el número de hojas (c) por brote para diferentes dosis de CM y formas de aplicación. Los incrementos se calcularon como la diferencia entre las mediciones de crecimiento de enero y septiembre de 2012. Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMsuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM se realizó en diciembre de 2011. Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

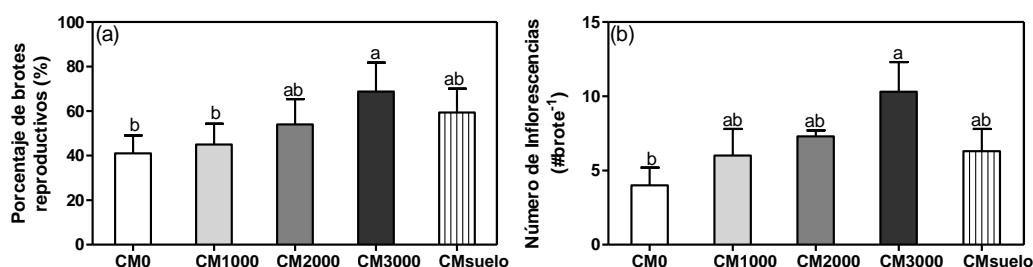


Figura 4.6. Porcentaje de brotes reproductivos (a) y número de inflorescencias por brote (b) para las diferentes dosis de Cloruro de Mepiquat (CM) y formas de aplicación. Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMsuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM fue realizada en diciembre de 2011 y los brotes reproductivos se midieron en septiembre de 2012. El

% de brotes reproductivos se calculó sobre los 8 brotes vegetativos seleccionados por árbol (dos por orientación). Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Los efectos de la aplicación de CM sobre el rendimiento, calculados por árbol o en base al volumen de copa, no difirieron entre los tratamientos en el Año 1 (Fig. 4.7 a y c). Por otro lado, en el Año 2 todas las dosis foliares produjeron aumentos significativos ($p < 0.05$) en el rendimiento por árbol con respecto al control, al igual que el CM aplicado en el suelo. Se encontró un patrón similar de respuesta para el número de frutos por árbol y por metro cúbico de copa en el Año 1 (Fig. 4.7 b y d). Pero en el Año 2, el tratamiento CM2000 fue el único que produjo un aumento significativo ($p < 0.05$) en el número de frutos por árbol. Aunque los tratamientos CM1000 y CM3000 produjeron aumentos considerables en el número de frutos por metro cúbico de copa en el mismo año. El peso seco medio de los frutos fue de 0.67 g por fruto y no mostró diferencias entre los tratamientos y años (datos no presentados).

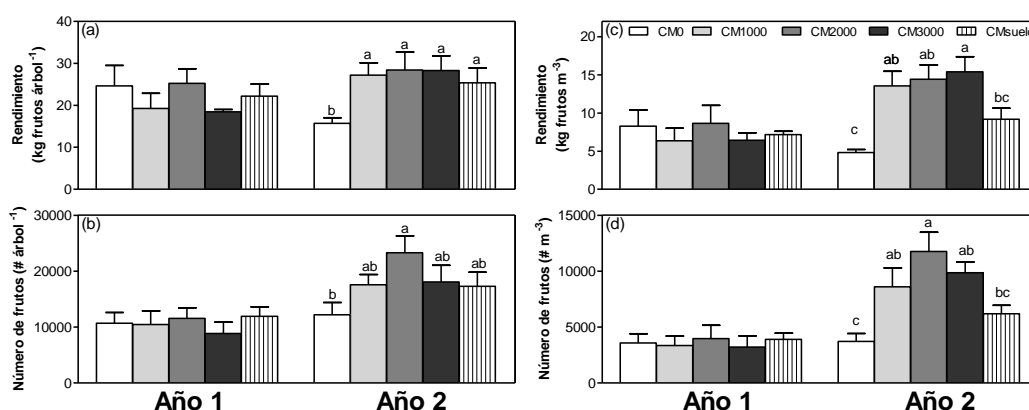


Figura 4.7: Rendimiento de frutos por árbol (kg árbol^{-1}) (a), número de frutos por árbol ($\# \text{árbol}^{-1}$) (b), rendimiento de frutos por unidad de volumen de copa (kg m^{-3}) (c) y número de frutos por unidad de volumen de copa ($\# \text{m}^{-3}$) (d) medidos en el Año 1 (año de poda y tratamientos de post-poda, abril de 2012), y Año 2 (abril de 2013). Los tratamientos fueron: aplicaciones foliares de 1000 ppm (CM1000), 2000 ppm (CM2000), 3000 ppm (CM3000); aplicación en el suelo (CMsuelo) y un control (CM0). La aplicación de CM fue realizada en diciembre de 2011. Cada barra representa el promedio de 4 árboles y las líneas verticales indican el error estándar. Letras ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos para cada año de medición ($p < 0.05$).

4.4. Discusión

El análisis demográfico expuesto en el Capítulo III puso en evidencia el efecto promotor de la poda severa invernal sobre la elongación y generación de nuevas brotes, tanto los vigorosos como los de bajo vigor, y la baja floración de retorno de los nuevos brotes en su conjunto (Albarracin *et al.*, 2018). Con el objetivo de reducir el crecimiento

vegetativo y promover la floración de retorno, en éste capítulo se evaluaron las respuestas vegetativas y reproductivas, incluyendo el rendimiento en las dos siguientes temporadas, de tres prácticas de post-poda en relación con un control podado. La poda invernal severa realizada imitando a una podadora mecánica se asoció con una disminución en la frecuencia y en la longitud de los brotes de bajo vigor nuevos, y un aumento en la frecuencia y la longitud de nuevos chupones en las caras podadas, en comparación con caras equivalentes en árboles no podados (Fig. 4.1). Además, la floración de retorno en estos nuevos brotes también se redujo en estos árboles intensamente podados en el invierno (Fig. 4.2). El número total de inflorescencias medidas en las 12 BB disminuyó de 36 a 1 comparando los controles no podados (C) y podados (PC). Estos resultados confirman aquellos previamente encontrados en el Capítulo III (Albarracín *et al.*, 2018; Sección 3.3.3, Fig. 3.6) en árboles de porte algo mayor (i.e. 7 m³ frente a 3.3 m³ antes de la poda) con una intensidad de poda similar. Además, se redujo el rendimiento (Fig. 4.3) con la poda debido a la eliminación de sitios potenciales de fructificación, como se observó antes (Albarracín *et al.*, 2017, Capítulo II).

Las prácticas de post-poda que evaluamos no fueron efectivas en el control de la respuesta excesiva del crecimiento vegetativo observado después de la poda, reflejado en el aumento de la frecuencia y longitud de chupones nuevos (Fig. 4.1). La técnica de post-poda de despunte de ramas nuevas (PH) fue la peor estrategia porque que estimuló la brotación de las yemas axilares que dieron lugar a ramificaciones nuevas de alto y bajo vigor respecto a PC (Fig. 4.1). Este resultado fue de alguna manera inesperado, ya que en el primer experimento retrasar la poda mecánica a principios de verano, se asoció con un crecimiento de ramificaciones similar al de las plantas sin podar (Albarracín *et al.*, 2017, 2018; Capítulo II y III). Li *et al.* (2003 b) explicaron las respuestas del crecimiento vegetativo y del fruto a la poda de verano en función de la carga fisiológica del cultivo después de la poda. Por lo tanto, si la relación de fuente de carbohidrato/demanda (i.e., área foliar/carga de frutos) está por encima de un cierto límite, la poda de verano no tendría ningún efecto sobre el crecimiento. En este sentido, la baja cantidad de área foliar eliminada con el despunte puede no haber modificado sustancialmente la relación oferta/demanda, mientras que la intensa poda de verano realizada por Albarracín *et al.* (2017) probablemente bajó significativamente el área foliar en comparación con la carga de fruta y resultó en un bajo nivel de crecimiento posterior de brotes.

La aplicación foliar de CM a una concentración de 1500 ppm después de la poda de invierno (PCM) no mostró una respuesta diferencial en el crecimiento de brotes de bajo vigor o chupones nuevos con respecto a PC (Fig. 4.1). Existe evidencia de que la reducción del crecimiento de las plantas no siempre ocurre en respuesta a la aplicación de anti-giberelinas (Rademacher, 2000). De hecho, el experimento de dosis de CM, realizado en árboles sin podar, mostró un efecto promotor del CM sobre el crecimiento vegetativo (Fig. 4.5).

La floración de retorno en las caras podadas de la copa fue sólo ligeramente modificada por los tratamientos de post-poda (Fig. 4.2). El número total de inflorescencias medidas sobre las 12 BB (sin discriminar entre tipo de rama) aumentó de uno en PC a dos en PT, y 12 en PCM. Aun así, este número de inflorescencias en PCM representó un tercio de los medidos en el control sin podar. De nuevo, PH fue el peor tratamiento de post-poda debido a que la producción de inflorescencias en la siguiente primavera fue nula en las cuatro categorías de ramas (Fig. 4.2), y esto se correlacionó con un bajo número de frutos y rendimiento en el Año 2 (Fig. 4.3). Aunque en manzano (cv.

Granny Smith) hay evidencias de que este tipo de poda mejoró la producción de yemas florales (Mohammadi *et al.*, 2013), cuando aplicamos esta práctica después de la poda mecánica severa de invierno, el efecto fue una inhibición de la floración de retorno. Por lo tanto, realizar un segundo corte ligero (i.e. sólo involucrando los últimos centímetros de rama) con la podadora mecánica sería la opción más fácil de realizar en el olivar desde un punto de vista práctico, pero el menos conveniente desde el punto de vista de la respuesta de la floración de retorno y el rendimiento de los árboles.

A pesar del impacto relativamente pequeño de PT sobre la floración de retorno medido en las caras podadas, esta práctica tuvo un impacto positivo en el número de frutos y rendimiento en el Año 2 (Fig. 4.3), particularmente obvio cuando la respuesta fue corregida por las diferencias en el volumen de copa entre los árboles (Fig. 4.3 c y d). El rendimiento aumentó de 7 (promedio de PC, PH y PCM) a 10.6 kg m⁻³ en PT, mientras que el número de frutos aumentó de 7608 a 13494 frutos por m⁻³ en los mismos tratamientos. En duraznero, se ha demostrado que la remoción temprana de chupones en el verano después de la poda de invierno mejora el rendimiento debido al aumento en el peso del fruto (Bussi *et al.*, 2011). Esta mejora en el peso y calidad de los frutos se debió a una mayor interceptación de luz en los frutos y hojas con la eliminación de los chupones que son pobres contribuyentes de carbohidratos a las frutas y a otras partes del árbol (Mika, 1986). Estudios previos informaron que incrementos en la interceptación de luz se traducen en mayor número de frutos en la siguiente temporada (e.g., Connor *et al.*, 2009; Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012, 2015). Por lo tanto, en mi experimento una mejora en la interceptación de la luz después de la remoción de los chupones podría haber contribuido a un aumento en el número de frutos al año siguiente (Fig. 4.3 b, d). Alternativamente, los chupones se consideran fuertes productores de giberelina (Kawarada y Sumiki, 1959), y se ha demostrado que las giberelinas se correlacionan con la inhibición de la inducción floral en varias especies de árboles frutales (revisión de Bangerth (2009)). Por lo tanto, el aumento de la iluminación y la reducción de las giberelinas después de la remoción de los chupones podría haber estado involucrado en el efecto positivo del raleo (PT) en el número de frutos.

Las respuestas a la aplicación de dosis crecientes de CM indican que, para cualquier dosis o forma de aplicación utilizada, el efecto del CM fue promover el crecimiento vegetativo en el año de aplicación (Fig. 4.5) y no reprimirlo como se esperaba sobre la base de los antecedentes con otros inhibidores de giberelinas (Avidan *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2012; Moreira *et al.*, 2016). La reducción del crecimiento en la longitud del entrenudo y el área foliar también se observa habitualmente cuando se aplica CM en el algodón (e.g., Gu *et al.*, 2014). Sin embargo, hay poca información sobre el uso de CM en árboles frutales. Recientemente, se observó en explantes de castaños que el CM tuvo un efecto promotor sobre el crecimiento vegetativo en dosis bajas (0,1 ppm o menos aplicado en explantes en la etapa de enraizamiento) y una inhibición en dosis más altas (1 ppm) (Roussos *et al.*, 2016). Aunque las concentraciones no son comparables con mi experimento debido a las diferencias en el tamaño de los árboles y otras condiciones, estos resultados sugieren que la influencia del CM en el crecimiento puede depender fuertemente de la dosis utilizada. En el único trabajo previo en el cual aplicaron CM en olivo no evaluó respuestas de crecimiento vegetativo (Stino *et al.*, 2010).

Por otro lado, la aplicación de CM a principios de verano en un año "on" en mi estudio se asoció con un marcado aumento en la floración de retorno (Fig. 4.6). Esto se

relacionó parcialmente con la promoción del crecimiento de brotes del CM, lo que resultó en un mayor número de yemas axilares potencialmente reproductivas. El porcentaje de brotes reproductivos aumentó un 40% y el número de inflorescencia por brotes aumentó un 60% en el tratamiento CM3000 en comparación con los árboles de CM0. Además, el rendimiento y el número de frutos casi se duplicaron con la aplicación de CM a 2000 ppm y 3000 ppm (Fig. 4.7 a y b), y este aumento no se explicó por el aumento en el tamaño del árbol ya que el aumento fue aún mayor cuando el rendimiento se expresó por m³ en base al volumen de copa (Fig. 4.7 c y d). Estudios previos con aplicaciones de paclobutrazol (e.g., Cruz *et al.*, 2011; Moreira *et al.*, 2016) o uniconazol (Avidan *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2012) a finales del invierno o principios de la primavera, mostraron como máximo un pequeño efecto de los inhibidores de giberelinas en la floración, y sus efectos sobre el rendimiento fueron nulos o negativos debido a la reducción del tamaño de la copa. Así, mis resultados apoyan y amplían los de Stino *et al.* (2010) sobre el uso de CM como promotor de la floración de retorno para reducir la alternancia productiva en olivo. Como Stino *et al.* (2010) evalué el % de inflorescencias, rendimiento y sus componentes, pero en otro cultivar (Arbequina *versus* Manzanillo y Picual) y bajo un rango más amplio de dosis (0-3000 ppm *versus* 0-2000 ppm). Además, analicé el efecto del CM sobre el crecimiento vegetativo y el posible impacto de incrementar el crecimiento vegetativo sobre el aumento observado en el rendimiento, algo que no se estudió previamente para olivo.

Los resultados del experimento de dosis de CM también sugieren que la dosis utilizada en el experimento de post-poda podría haber sido algo baja. En consecuencia, una poda mecánica severa de invierno en un año "on" seguido por la aplicación de una dosis de 3000 ppm de CM en endurecimiento de endocarpio podría haber tenido un mayor impacto en la floración de retorno y, en consecuencia, mayor número de frutos y rendimiento al año siguiente. Decidí aplicar la dosis de 1500 ppm en el experimento de post-poda sobre la base del trabajo de Stino *et al.* (2010). Tanto el trabajo de Stino *et al.* (2010), en la que no se aplicó una poda previa, como los resultados de mi experimento con CM no mostraron grandes diferencias entre las dosis de 1000 y 2000 ppm (Fig. 4.6), por lo que no se esperaba un aumento adicional en el número de inflorescencia con dosis más altas de CM. Por otro lado, el momento de aplicación de CM podría haber influido en la respuesta. Por ejemplo, en los olivos jóvenes ligeramente podados de forma manual, la aplicación de paclobutrazol a principios del invierno redujo el crecimiento vegetativo y favoreció la floración en las condiciones templadas de Minas Gerais (Brasil; Cruz *et al.*, 2011). En este experimento, se aplicó CM en endurecimiento del endocarpio porque es el momento que se considera asociado a la mayor inducción floral de las yemas para la siguiente floración (Rallo y Cuevas, 2008), y mis resultados parecen apoyar esta hipótesis.

4.5. Conclusión

De las prácticas de post-poda evaluadas en este capítulo, el raleo de los nuevos chupones 4 meses después de la poda mecánica severa de invierno resultó ser la mejor estrategia. Con esta práctica de post-poda fue posible reducir el tamaño del árbol, mejorar la floración de retorno de las nuevas ramas y el rendimiento. Sin embargo, esta práctica sería la menos viable en términos operatorios y de costos en la actualidad. Por otra parte, el despunte de ramas, que sería una práctica de manejo más fácil de implementar, se mostró como la peor estrategia para controlar el crecimiento vegetativo y promover la

floración de retorno de las nuevas ramas. Por último, la aplicación de 1500 ppm de CM después de una poda mecánica de invierno no mostró una tendencia muy clara en el crecimiento vegetativo y sólo un efecto moderado en los parámetros reproductivos, probablemente porque la dosis utilizada fue baja. Las respuestas alentadoras de la aplicación de CM en árboles sin podar indican la necesidad de nuevos estudios que combinen poda severa de invierno con aplicaciones de CM en endurecimiento de endocarpio en el rango de 2000-3000 ppm y durante varios años consecutivos para confirmar si esta práctica es la mejor estrategia de manejo de post-poda.

Hasta aquí, en los tres capítulos de resultados de esta tesis, se informaron los resultados de los experimentos realizados. En el próximo capítulo (final) se plantearán y discutirán los mensajes más relevantes de esta investigación en el marco de los objetivos inicialmente planteados y se expondrán los nuevos interrogantes que emergieron a partir de los resultados.

Capítulo V

Discusión General

Capítulo V

Discusión General

5.1. Aspectos destacados de los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

La olivicultura en la Argentina creció en la década del 90 gracias a ley de diferimientos impositivos, especialmente en La Rioja, Catamarca y San Juan. La toma de decisiones en cuanto a la elección de los lugares en las que se efectuaba la implantación, las variedades utilizadas y el manejo de la plantación fue basado en la experiencia de las regiones tradicionalmente productoras de la cuenca del mediterráneo (Searles *et al.*, 2011). Esto llevó a cometer errores debidos a que las condiciones edáficas (i.e. suelos profundos, llanos y de textura franco-arenosa a franco-arcillo-limosa) y climáticas de la región del Chaco árido como la estacionalidad de lluvias, temperaturas elevadas durante el verano y otoño, con inviernos suaves y cortos (Gómez del Campo *et al.*, 2010) diferían mucho de las zonas de origen. Dichos cambios de condiciones afectan: en algunos cultivares, a la no expresión de los genes que codifican el locus T responsables de la inducción floral de las yemas por falta de acumulación horas de frío durante el invierno (Rubio-Valdés, 2009; Aybar *et al.*, 2015, Haberman *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2018); determinan un cambio en el momento de cese de la estación de crecimiento vegetativo (i.e. desde fines de invierno hasta finales de verano o principios de otoño; Fernández *et al.*, 2015); incrementan gradualmente la vecería o alternancia productiva (Lavee, 2007) y alteran la composición ácida del aceite generado (Rondanini *et al.*, 2011, 2014; García-Inza *et al.*, 2014). Partiendo de estas diferencias, resulta indispensable intervenir con poda para controlar el tamaño del canopeo y minimizar la alternancia productiva. Cabe resaltar que antes de cualquier intervención con poda se deben tener en cuenta los siguientes aspectos básicos: el vigor del cultivar, las condiciones nutricionales y sanitarias, reservas, la carga de frutos y edad de la plantación (i.e. joven sin entrada en producción, en producción y planta adulta) (Mika, 1986; Gucci y Cantini, 2000). No obstante, es importante mencionar que, sea manual o mecánica, no hay un momento o época ideal de poda y los resultados obtenidos dependerán de los aspectos antes mencionados. Actualmente, la tendencia es la mecanización de dicha práctica que comúnmente se realiza durante el invierno mientras que la poda mecánica de verano es menos común debido a que se eliminan frutos y en algunos casos utilizan este momento para cortar el “top” del árbol. La mecanización de la poda fue un cambio adicional al sistema de manejo utilizado en los 90, agregando una incógnita más al diseño de un nuevo sistema de manejo, debido a la falta de selectividad de la poda mecánica frente a la poda manual.

Los experimentos efectuados en el contexto de esta tesis tuvieron por objetivo evaluar la influencia del momento e intensidad de poda sobre el crecimiento vegetativo, la demografía de brotes nuevos y el rendimiento en árboles jóvenes de olivo (cv. Arbequina) en condiciones de clima no mediterráneo. Tres experimentos efectuados con este objetivo fueron realizados en años con alta carga de frutos (i.e. Año “on”), generando resultados originales en cuanto a las respuestas demográficas de los brotes, tanto, vegetativos como reproductivos, y las fisiológicas del cultivo sometido a podas mecánicas simuladas en invierno (3 intensidades) y verano y a prácticas de post-poda. La originalidad de los resultados obtenidos deriva del hecho que la información en estos temas era sumamente escasa. Los trabajos previos sobre poda mecánica están focalizados

en comparar técnicas de poda manual y mecánica (Giametta y Zimbalatti, 1997; Ferguson *et al.*, 2002; Peça *et al.*, 2002; Tombesi *et al.*, 2012) o eficiencias en máquinas podadoras y cosechadoras (Días *et al.*, 2004, 2012; Farinelli *et al.*, 2011) y ninguno de ellos cuantificaron el crecimiento vegetativo ni los componentes de rendimiento como herramienta que permita comprender la respuesta a la poda de invierno *versus* una de verano. Analizar el crecimiento vegetativo post-poda según las proporciones de ramas de diferentes categorías de vigor y edad de madera de la BB y su posterior floración de retorno es muy novedosa en olivo. Previamente, sólo un trabajo en olivo analizó demográficamente el crecimiento de ramas nuevas sin diferenciar ramas vigorosas (chupones) o no vigorosas (brotes), ni su posterior floración de retorno y sin realizar ningún tipo de poda (Castillo-Llanque *et al.*, 2011). Los resultados de los experimentos de manejo post-poda y del uso de un regulador de crecimiento sobre la floración de retorno aportaron información acerca de que prácticas de post-poda o de aplicación de reguladores de crecimiento podrían mitigar el crecimiento de las ramas vigorosas nuevas y mejorar el cambio de vegetativo a reproductivo de las nuevas ramas. El experimento de post-poda puso de manifiesto que el raleo de chupones nuevos en árboles previamente podados en invierno de forma mecánica (40% del volumen de copa eliminado) es la estrategia de post-poda que mejora la floración de retorno y rendimiento en la siguiente temporada. Por el contrario, en perales de 7 años (cv. Blanquilla), la respuesta al raleo de chupones en verano resultó ser la peor estrategia en comparación a los tratamientos de aplicación de paclobutrazol, poda de raíces, riego deficitario y aplicación de prohexadiona-Ca (Asin *et al.*, 2007). Sin embargo, este trabajo no realizó antes poda de invierno indiscriminada como en mi experimento.

Los tratamientos de poda aplicados en el Año 1 permitieron diferenciar claramente las respuestas a tres intensidades de poda invernal (i.e. ligera, moderada y severa) y una poda severa de verano (Fig. 2.2). La eliminación creciente de biomasa de hojas y tallos en invierno, a los que se agregaron frutos en la poda severa de verano, se reflejaron de manera consistente en todas las variables de crecimiento vegetativo medidas durante dos estaciones de crecimiento (Fig. 2.4), y en el rendimiento y sus componentes durante tres estaciones (Año 1, Año 2 y Año 3; Fig. 2.5). Las mediciones periódicas del área seccional del tronco (TCSA; Fig. 2.3) y la proporción de BB con ramas nuevas, cantidad de ramas nuevas, longitud total y número de hojas por punto de corte en respuesta a la poda mecánica de invierno y verano permitieron evaluar su dinámica, cosa que hasta el momento se desconocía. Cuantificar dichas variables de respuesta permitió asociarlas con el área foliar removida (AFR) en un modelo lineal simple (Cuadro 2.2) y, por otro lado, también se logró sintetizar e identificar la correlación entre variables respuesta a la poda mecánica de invierno y verano en un análisis multivariado de componentes principales (Cuadro 2.3 y Fig. 2.6). El grado de asociación obtenido entre las variables de crecimiento vegetativo y de rendimiento y sus componentes en relación a la intensidad de poda mecánica de invierno y verano son innovadoras debido a que la información previa era sumamente escasa. Solo disponemos de un único antecedente, en el que se analizaron el efecto del riego deficitario y la fertilización y mediante el uso componentes principales observaron una relación negativa entre el crecimiento vegetativo y el rendimiento en setos súper intensivos de olivo podados manualmente, pero no se evaluaron intensidades ni momentos de poda mecánica (Rufat *et al.*, 2014). Otro hallazgo a destacar es que el rendimiento promedio de los 3 años posteriores a la poda no fue modificado por las diferentes intensidades de poda invernal y esto coincide con lo informado por Vivaldi *et al.* (2015), pero el grado de fluctuación interanual sí fue variable entre tratamientos (Cuadro 2.1 y Fig. 2.5). Por último, a nivel fisiológico se evaluaron algunas características

morfológicas foliares y de intercambio gaseoso de las hojas remanentes después de la poda invernal (Cuadro 2.4) que no fueron consideradas por el modelo de simulación de árboles de olivos podados manualmente propuesto por Fernández *et al.* (2008).

En el mismo grupo de árboles mencionados en el párrafo anterior se evaluó el impacto de la poda mecánica sobre la demografía de brotes nuevos durante 2 temporadas de crecimiento y su posterior floración de retorno durante 3 floraciones sucesivas (Albarracín *et al.*, 2018; Cap. III). El crecimiento de ramas totales por BB cuantificado en el capítulo II, fue clasificado según el vigor de los brotes nuevos en: brotes no vigorosos, es decir, brotes y brotes laterales nuevos (lat-brotes) por BB y brotes vigorosos en chupones y chupones laterales (lat-chupones) nuevos por BB según los tratamientos de poda (intensidad y momento; Fig. 3.2). Además, conocer la edad de madera de las 12 BB marcadas por árbol permitió evaluar los efectos de la edad de la madera sobre las que se originaron las nuevas ramas (Fig. 3.3). El análisis según intensidad y momento de poda reflejó que el aumento de la intensidad de la poda mecánica de invierno se asoció con un aumento en el número y la longitud de brotes vigorosos (i.e. chupones y lat-chupones) en comparación con el tratamiento control sin poda y esto se observó durante los 2 años posteriores a la poda. La poda severa de verano (75S) generó una cantidad considerable de brotes vigorosos, aunque el crecimiento vegetativo nuevo estuvo dominado por brotes no vigorosos y este patrón fue similar al control sin poda y muy diferente a su homólogo de invierno 75W (Fig. 3.2). Por otro lado, la edad de madera de BB moduló el tipo de brotes que crecieron sobre ellas en los años subsiguientes (Fig. 3.3). Las BB de madera más vieja tuvieron impacto en los brotes vigorosos y menor efecto en los no vigorosos independientemente de la poda aplicada (Fig. 3.3). En la misma línea, las asociaciones entre las variables demográficas de respuesta (Cuadro 3.2) utilizadas para el análisis de componentes principales (PC) en los Años 1 y 2 (Fig. 3.4, 3.5) mostraron que las BB de mayor edad de madera se asociaron con una mayor frecuencia y longitud de brotes vigorosos y, por el contrario las BB más jóvenes se asociaron con brotes de bajo vigor y brotes laterales. Que los análisis de la varianza de la intensidad y momento de poda, el de edad de madera de BB y el de componentes principales refleje la misma tendencia le proporciona mayor robustez a mis resultados. Por último, la evaluación, durante 3 floraciones consecutivas, del proceso de transición de los tipos de brotes del estado vegetativo al reproductivo, generó un registro (Fig. 3.6) que carece de antecedentes en la bibliografía.

Por otro lado, el Capítulo IV describe dos experimentos que evaluaron el efecto de tres prácticas de post-poda y la aplicación de dosis crecientes de Cloruro de Mepiquat (CM, inhibidor de síntesis de giberelinas) sobre la generación de brotes vigorosos nuevos y el aumento de la floración de retorno durante dos temporadas. El objetivo del primer experimento fue evaluar el efecto del raleo de chupones nuevos (PT), el despunte de brotes nuevos a principios de verano (PH) y la aplicación de CM (PCM) sobre la floración de retorno en árboles podados al final del invierno más un árbol con poda control (PC) y uno sin poda (C). La necesidad de analizar los efectos de prácticas de post-podas se originó sobre la base de la comprobación del efecto promotor de la poda mecánica severa de invierno, observado en el Capítulo III (Albarracín *et al.*, 2018), sobre la generación de brotes vigorosos y de gran longitud por cada punto de corte y la baja floración de retorno general de todos los brotes nuevos. Con el fin de reducir el crecimiento vegetativo y obtener una visión global del comportamiento reproductivo se evaluó, luego de aplicados los tratamientos de post-poda, la demografía de los brotes vigorosos y no vigorosos por BB (Fig. 4.1), la proporción y número de inflorescencias por BB (Fig. 4.2), y el

rendimiento y sus componentes (Fig. 4.3 y 4.4). Este experimento reveló que las prácticas de post-poda evaluadas no fueron efectivas en controlar la proporción, número y longitud de los brotes vigorosos nuevos. El tratamiento PH fue la peor práctica post-poda debido a que el despunte de las ramas nuevas promovió la ruptura de dormición de los lat-brotes y lat-chupones respecto a PC. La misma tendencia pero en menor medida mostró PT cuando se raleo el 50% los chupones. El tratamiento PCM tampoco se diferenció del PC, probablemente porque la dosis empleada fue baja (Fig. 4.1). En relación a la floración de retorno, la poda severa de invierno disminuyó la cantidad de inflorescencias respecto al control sin poda, mientras que los tratamientos de post-poda mostraron un ligero efecto positivo en mejorar la floración de retorno al nivel brotes laterales y chupones laterales en PCM y un poco menor en PT respecto al PC (Fig. 4.2). Además, estos resultados confirman aquellos previamente encontrados en Albarracin *et al.* (2018) y el Capítulo III (Sección 3.3.3, Fig. 3.6) en árboles con una intensidad de poda similar. A pesar del bajo impacto de PT sobre la floración de retorno, el raleo de chupones a principio de verano fue la mejor estrategia de post-poda. PT tuvo un impacto positivo en el número de frutos y rendimiento en el Año 2 cuando la respuesta fue corregida por las diferencias en el volumen de copa entre los árboles (Fig. 4.3 c y d). Estos resultados constituyen el primer antecedente que analizó, en un contexto demográfico y para olivo, los efectos de prácticas de post-poda sobre el crecimiento de brotes nuevos y su posterior floración de retorno.

Por otro lado, en el segundo experimento cuyos resultados se informan en el Cap. IV, y cuyo objetivo fue determinar la dosis óptima de CM que incrementará la producción de yemas de flor en la siguiente primavera (año *off*) se realizó teniendo en cuenta que el producto no es muy empleado en olivo en particular y en frutales en general, siendo más común su uso en el cultivo de algodón (e.g., Rademacher, 2000; Cothren y Oosterhuis, 2010; Gu *et al.*, 2014; Tung *et al.*, 2018). Es decir, evaluamos la posibilidad de utilizar CM para reducir la alternancia productiva que ocurre a menudo en los árboles de olivo con un año de alta carga de fruta (año "*on*") seguido de un año de baja carga de fruta (año "*off*") (Morettini, 1972; Monselise y Goldschmidt, 1982; Lavee, 2007). Stino *et al.* (2010) aplicaron CM en olivos de los cultivares Manzanilla y Picual en Sinai, Egipto en un rango menor de dosis (0-2000 ppm) incrementando la floración de retorno y el rendimiento de la siguiente temporada con dosis de 1500 ppm. Sobre la base del trabajo de Stino *et al.*, (2010), repliqué su trabajo en un rango más amplio (0-3000 ppm *versus* 0-2000 ppm) y una aplicación en el suelo junto al agua de riego y en el cultivar Arbequina en la provincia de La Rioja. Igual que Stino *et al.* (2010) evalué el % de inflorescencias, rendimiento y sus componentes. Adicionalmente, se evaluó el crecimiento vegetativo y el posible impacto de incrementar el crecimiento vegetativo sobre el aumento observado en el rendimiento, algo que no se estudió previamente para olivo. El primer aspecto a destacar de la aplicación de CM es el efecto promotor sobre el crecimiento vegetativo en el año de aplicación (Fig. 4.5) en lugar de restringirlo como se esperaba (Avidan *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2012; Moreira *et al.*, 2016;) y esto se asoció con un marcado aumento en la floración de retorno para la dosis de 3000 ppm (Fig. 4.6). El último hallazgo importante de este experimento es que el rendimiento y el número de frutos se duplicaron con dosis de 2000 y 3000 ppm (Fig. 4.7 a y b), y este aumento no se explicó por el aumento en el tamaño del árbol ya que el aumento fue aún mayor cuando el rendimiento se expresó por m³ en base al volumen de copa (Fig. 4.7 c y d). El aumento de la floración de retorno y rendimiento con dosis de 3000 ppm explicarían la tendencia poco clara del efecto de las 1500 ppm empleadas en PCM.

5.2. Validación de hipótesis formuladas al comienzo del proyecto.

El **Objetivo 1** del proyecto proponía **analizar los cambios inducidos en la formación de nuevas ramificaciones y en el funcionamiento de las hojas remanentes en respuesta a intensidades crecientes de poda mecánica durante yema en reposo (i.e., invierno) y endurecimiento de endocarpio (i.e., principios de verano) sobre las caras laterales de árboles de olivo.** A partir de este objetivo, se desprendían tres hipótesis, la **H.1.1** proponía que *en la primera y segunda estación de crecimiento, el número de ramas vegetativas nuevas por punto de corte es mayor a mayor intensidad de poda. La poda severa de verano genera menor número de ramas vegetativas nuevas por punto de corte que la poda severa de invierno. Esto se explica porque luego del pico de crecimiento primaveral los frutos en activo crecimiento compiten con el crecimiento de ramas nuevas.* Los resultados obtenidos en las dos temporadas experimentales mostraron que el crecimiento de ramas fue mayor en las intensidades 50W y 75W en el Año 1 (año *on*) y más en Año 2 (año *off*), mientras que la poda de verano mostró un comportamiento similar al control y 25W en las dos temporadas (Fig. 2.4). Mi estudio pone de manifiesto que la poda severa invernal afecta el crecimiento vegetativo sobre más de una temporada. Esta respuesta coincide y profundiza los hallazgos informados por Cherbiy-Hoffmann *et al.* (2012). Ellos encontraron que una poda mecánica invernal severa efectuada sobre olivos en setos continuos de olivos en una plantación de 8 años de edad conduce a una marcada respuesta del crecimiento vegetativo al corte. En ese ensayo, al comparar la densidad de área foliar en relación a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada en diferentes posiciones en caras podadas y sin podar observaron que esa variable estaba más influenciada por la respuesta al corte que a la PAR. En esta misma dirección, en mi estudio el crecimiento vegetativo post-poda se asoció positivamente con la cantidad de área foliar removida (ver cuadro 2.2). La producción de biomasa se asocia positivamente a la PAR interceptada (e.g., Mariscal *et al.* 2000 a), en consecuencia el mayor crecimiento vegetativo con el aumento en intensidad de poda no puede ser explicado por la PAR interceptada por los árboles podados. En este sentido, cambios en la partición de carbono o en la eficiencia en el uso de la radiación podrían explicar los resultados observados.

Por otro lado, el crecimiento vegetativo y el del tronco fue bajo en el año de alta carga (Año 1) y mayor en el Año 2 de baja carga de frutos debido a la competencia por asimilados entre los frutos, ramas y tronco (Fig. 2.3 y 2.4). Esto coincide con estudios previos que mostraron que la carga de frutos reguló el crecimiento vegetativo en árboles sin poda (Dag *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2015). **Estas evidencias permiten aceptar la H.1.1.** Existe ausencia de trabajos sobre poda mecánica que hayan evaluado las dinámicas del crecimiento primario *versus* secundario en respuesta a la poda invernal y mucho menos estudiada aún es la poda mecánica de verano que permita contrastar las dinámicas de las respuestas.

La **H.1.2** asociada al Objetivo 1 del proyecto, proponía que *en la primera estación de crecimiento el rendimiento y sus componentes (i.e. número y tamaño de frutos) disminuye con la intensidad de poda invernal y la poda de verano. Esto se explica porque en el invierno se eliminan sitios potenciales de fructificación y en la de verano se eliminan frutos.* En el Año 1 (año *on*), el rendimiento y el número de frutos fueron elevados en el árbol sin poda, mientras que en los tratamientos 50W y 75W el rendimiento disminuyó ligeramente debido a que se eliminaron sitios potenciales de fructificación (Fig. 2.5). Las disminuciones en el rendimiento de estos tratamientos fueron leves debido

a una compensación del cuaje de frutos en las caras no podadas. Por otro lado, la poda severa de verano sí mostró reducciones considerables en el rendimiento y número de frutos respecto al control porque junto con las ramas se eliminaron 5 kg de frutos por árbol. Si bien los frutos a cosecha fueron más grandes no logró compensar la reducción del rendimiento. El tratamiento CON mostró la alternancia productiva típica del olivo en los tres años de observación (Fig. 2.5). **Estas evidencias permiten aceptar la H.1.2.** El rendimiento y el número de frutos en los Años 2 y 3 fueron fluctuante en todos los tratamientos y condicionado por la carga de frutos del año anterior (Fig. 2.5). Sin embargo, una poda moderada de invierno (50W) podría ser recomendada como intensidad que interrumpe la vecería debido a que mostró variaciones leves entre años. A pesar de las diferencias entre años en el rendimiento y sus componentes, el rendimiento promedio de las tres campañas fue similar entre los tratamientos de poda invernal respecto al control y en esto mis resultados coinciden con los de Vivaldi *et al.*, (2015) en setos de alta densidad. El retraso en la fecha de poda redujo el rendimiento promedio de los tres años en un 25% con respecto al promedio de los otros tratamientos (incluyendo el control sin poda y las tres intensidades de poda invernal), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 2.1).

Por último, **la H.1.3** planteaba que *luego de la poda invernal, la fotosíntesis neta y la conductancia estomática de las hojas de la periferia de la copa es menor a mayor intensidad de poda y mayor que los árboles sin poda. Esto se explica porque a mayor intensidad de poda las hojas bien iluminadas fueron eliminadas dejando expuestas las hojas adaptadas a la sombra que poseen menor densidad de estomas, área foliar específica y conductancia estomática respecto a las hojas adaptadas a luz solar plena de los árboles sin poda. La tasa fotosintética a saturación lumínica en olivo está fuertemente asociada a la conductancia estomática (Díaz Espejo *et al.* 2007).* Las hojas de olivo de la periferia de la copa son muy reflectantes a la luz visible (aproximadamente 10-12%) y debido a su alta masa foliar específica (SLM, 180-220 g m⁻²) tienen una transmisividad muy baja (0.2%) (Mariscal *et al.*, 2000 a, 2000 b). En contraste, las hojas que se encuentran sombreadas presentan menor densidad de estomas, tricomas, SLM, conductancia estomática (g_s) y A (tasa de fotosíntesis neta) (Gregoriu *et al.*, 2007). Estas hojas, que luego de la poda invernal quedaron expuestas a luz solar plena, aumentaron la fotosíntesis por unidad de peso en 50W y 75 W y la transpiración por unidad de peso y conductancia estomática en 75W con respecto al control sin poda. Además los valores de SML disminuyó con la intensidad de poda invernal respecto al control sin poda debido a que las hojas de sombra son más delgadas y están adaptadas a condiciones de mayor humedad y menor temperatura por lo tanto la regulación de cierre estomático es menor (Gregoriu *et al.*, 2007). Estos resultados **permiten rechazar la H.1.3.** Los resultados obtenidos medidos al mes de aplicada la poda invernal, presentan eventual importancia a nivel fisiológico e indican la necesidad de evaluar las características morfológicas de las hojas sombreadas y el intercambio gaseoso en respuesta a la poda mecánica de invierno y verano. Cabe mencionar que para responder esta hipótesis se planearon realizar más mediciones, pero debido una serie de limitaciones relacionadas con el equipamiento disponible, sólo pude realizar una a los 30 días de aplicada la poda invernal. Sería interesante en futuros estudios evaluar el tiempo que lleva la eventual recuperación de la capacidad fotosintética en hojas desarrolladas en condiciones de sombra previo a la poda y que quedan expuestas a condiciones de alta irradiancia luego de la poda.

El **Objetivo 2** de esta tesis pretendía **comparar la respuesta de la demografía de brotes nuevos a cantidades crecientes de biomasa removida en dos momentos**

diferentes: en invierno y verano. En los mismos árboles usados para el Objetivo 1, el crecimiento vegetativo total fue analizado según el vigor de los brotes nuevos y la edad de madera del punto de corte sobre las cuales se originaron los brotes vigorosos y no vigorosos y su floración de retorno. Se propusieron dos hipótesis para ser contrastadas en relación a este objetivo. La **H.2.1** suponía que *a mayor intensidad de poda invernal mayor es la proporción y longitud de chupones vigorosos que brotes de bajo vigor con respecto a la poda severa de verano y el control sin poda. La floración de retorno de los chupones vigorosos es nula y escasa en los chupones vigorosos y chupones laterales en la siguiente temporada. Consecuentemente, la intensidad y momento de poda repercutirán sobre la floración de retorno debido a los cambios en el tipo de brotes y su vigor.* Los resultados de la Figura 3.2 pusieron en evidencia que el aumento de la intensidad de poda mecánica invernal (50W y 75W) se asoció con un aumento en la proporción de BB que originaron brotes vigorosos, en el número y longitud de chupones y lat-chupones respecto al control sin poda y este comportamiento se observó en los 2 Años post-poda. Estos resultados coinciden con los reportados para otros frutales como mango y duraznero (Vázquez-Valdivia *et al.*, 2009; Bussi *et al.*, 2011; Bevacqua *et al.*, 2012; Bussi *et al.*, 2014; Dalkiliç *et al.*, 2014). La proporción de BB con brotes de bajo vigor en los tratamientos 50W y 75W también fue menor que en el control sin poda pero aproximadamente el 60% de las BB originaron brotes de bajo vigor en los dos años subsiguientes a la poda. Por otro lado, retrasar la poda severa de invierno al verano puso de manifiesto un comportamiento muy diferente a 75W al nivel de brotes vigorosos mientras que en las brotes de bajo vigor fue similar al control sin poda en los dos años post-poda. En 75S las brotes nuevos de bajo vigor fueron las dominantes (i.e. brotes de bajo vigor y lat-brotes) aunque una cantidad considerable de chupones también se generaron. En los Años 1 y 2 una elevada proporción de BB originaron brotes de bajo vigor y lat-brotes siendo ambos tipos de ramas deseables para los setos de olivos en alta densidad (Rosati *et al.*, 2013). En relación a la floración de retorno evaluada durante 3 floraciones, la Fig. 3.6 puso de manifiesto la nula floración de retorno de los chupones y lat-chupones en los árboles podados en invierno y verano en los Años 2 y 3. Esta respuesta puede estar relacionada a que los ápices de ramas vigorosas en activo crecimiento (i.e., chupones y lat-chupones) sintetizan altas concentraciones de giberelinas (AG_s) que en frutales parece inducir la latencia de las yemas e inhibir la inducción floral a fines de otoño (Elliott *et al.*, 2001; Bangerth, 2009; Rubio-Valdés, 2009; Haberman *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2018). El porcentaje de brotes reproductivos nuevos fue 19.4% en el control y fue disminuyendo con la intensidad de poda invernal y fue nulo en la poda de verano (Fig. 3.6). Estos resultados están dentro de los porcentajes de yemas florales de 11-26% informados para Arbequina al año siguiente de poda (Fiorino y Marone, 2010). La floración de retorno en el Año 4 fue elevada en brotes de bajo vigor, medios en lat-brotes y escasos en chupones y lat-chupones. Esto indicaría que este tipo de ramificaciones vigorosas necesitan más tiempo para moderar el vigor. Estos resultados **permiten aceptar la H.2.1.**

La **H.2.2** del Objetivo 2 declaraba que *a mayor edad de madera en el punto de corte, mayor es la cantidad y longitud de chupones vigorosos generados, mientras que puntos de corte de menor edad se asocian con brotes cortos de bajo vigor. Consecuentemente edades de madera crecientes en el punto de corte se asocian con menor floración en la siguiente temporada.* La mayor edad de la madera de BB en el punto de corte se asoció con un mayor crecimiento de las ramas vigorosas y de lat-brotes y esta respuesta fue independiente de la intensidad y momento de poda (Fig. 3.3). Los biplots confirmaron estos resultados y pusieron en evidencia que las edades de madera de

3 y 4 años fueron fuertemente asociadas con las variables de crecimiento vigoroso en el Año 1 (Fig. 3.4). Las podas más severas de invierno o de verano dejaron expuestas ramas más viejas de 3 y 4 años, pero la edad de BB presente en todos los tratamientos fueron las de 1, 2 y 3 años (Cuadro 3.1) generando proporciones y número de chupones y lat-chupones considerables por punto de corte. Contrariamente, BB de 1 y 2 años se asociaron más con ramas de bajo vigor (Fig. 3.3). Como señalan Fiorino y Marone (2010), edades de madera mayores a 2 años originan ramas nuevas de las yemas accesorias y estas ramas presentan un crecimiento ortótropo (i.e., crecimiento vertical) con entrenudos al inicio muy cortos que aumentan rápidamente de longitud y hojas pequeñas y redondeadas. Estas características se observaron en los chupones de mi experimento. Es decir que la edad de madera además de la intensidad o momento de poda influyen en el tipo, número y longitud de las ramas nuevas. A mayor edad de madera de BB, mayor es la cantidad de ramas vigorosas producidas y este tipo de ramas tienen nula floración de retorno en la siguiente temporada; mientras que en los brotes la floración de retorno fue escasa (Cuadro 3.6). En coincidencia con la H.2.1 la transición de las ramas no vigorosas y vigorosas a ramas reproductivas es mayor al tercer año post-poda, moderada en el segundo y escasa/nula al año siguiente de la poda. Estos resultados indican claramente que la baja floración de retorno en este experimento no es debido a la falta de desarrollo reproductivo en los sitios existentes, sino que es consistente con un estado de latencia forzado de las yemas y con la inhibición de la inducción de las yemas florales a fines de otoño (Elliott *et al.*, 2001; Rubio-Valdés, 2009; Haberman *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2018) por la presencia de frutos y embrión en crecimiento en el año *on* en que se realizó la poda (Stutte y Martin, 1986; Fernández-Escobar *et al.*, 1992). Estas evidencias **permiten aceptar la H.2.2.**

El **Objetivo 3** de esta tesis proponía **evaluar el efecto del raleo y despunte de brotes nuevos a principios de verano y de la aplicación de anti-giberelinas sobre la floración de retorno en árboles podados al final del invierno.** Se formularon cuatro hipótesis en relación con este objetivo. La primera de ellas, **H.3.1**, suponía que ***El raleo de chupones vigorosos principalmente y de brotes de bajo vigor a principios de verano post-poda (eliminando el 50% de los chupones vigorosos por punto de corte), incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera con respecto a las plantas podadas pero no raleadas. Este comportamiento reflejaría el hecho que la eliminación de chupones vigorosos que sintetizan giberelinas, las que inhiben la inducción floral, favorecería la floración de retorno.*** La respuesta a la poda invernal severa, en consistencia con la H.2.1, modifica el tipo, proporción y longitud de las nuevas ramificaciones con respecto al tratamiento control (PC). Por otro lado, los tratamientos de post-poda redujeron la proporción y longitud de brotes de bajo vigor y aumentaron el número y longitud de chupones, lat-chupones y lat-brotes respecto al tratamiento PC (Fig. 4.1). A pesar de los cambios demográficos de tipos de brotes, los tratamientos de post-poda no lograron revertir la escasa floración de retorno de las caras podadas (Fig. 4.2), es decir que la tendencia observada en los resultados presentados en el Capítulo III se repiten. Nuevamente, los brotes de bajo vigor demostraron ser los tipos de brotes sobre las cuales se observó la mayor frecuencia de inflorescencias. En consecuencia, eliminar el 50% de los chupones (o aquellas con signos claros de juvenilidad, tratamiento PT) al principio de verano no indujo la formación de nuevos chupones (Fig. 4.1) debido a que el raleo de los mismos se realizó en un momento en el que se incrementó la competencia con los frutos por asimilados (Gucci y Cantini, 2000). Además, esta técnica incrementó levemente la producción de yemas reproductivas en los brotes remanentes con respecto a los árboles podado pero no raleados (Fig. 4.2), lo que tuvo impacto positivo sobre el número de frutos y el rendimiento del Año 2, cuando fue corregido por el volumen de

copa de los árboles (Fig. 4.3). Haber eliminado el 50% de los chupones por BB en verano y que no se generen nuevos chupones podría explicarse porque el raleo generó una mayor competencia entre frutos remanentes y los ápices en crecimiento, lo que podría tener un efecto negativo sobre el vigor (Arjona y Santinoni, 2007). También es posible que el raleo de los chupones que sintetizan altas concentraciones de giberelinas (Kawarada y Sumiki, 1959) haya contribuido a la expresión de los genes que codifican el locus T, aumentando la concentración de este gen en hojas y yemas provocando la inducción de las yemas reproductivas a fines del otoño (Haberman *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2018). Es decir, luego de una poda mecánica invernal, un repaso manual que elimine la totalidad de los chupones podría mejorar la floración de retorno y el rendimiento de frutos. Estos resultados **permiten aceptar la H.3.1**. En peral, el raleo de ramas en verano controló el número y tamaño de los ramas remanentes pero no mejoró la floración de retorno (Asín *et al.*, 2007), mientras que otro trabajo en manzano observó que el raleo de ramas en verano luego de una poda invernal incrementó el tamaño de los frutos y por ende el rendimiento debido a una mejora del ambiente lumínico (Bussi *et al.*, 2011). En la misma línea, para olivo se han reportado incrementos en el número de frutos con aumentos en la interceptación de luz (e.g., Connor *et al.*, 2009; Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012, 2015).

Por otro lado, la **H.3.2** declaraba que *el despunte de brotes de bajo vigor y chupones vigorosos del año luego de endurecimiento del carozo (principios de verano post-poda), incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera con respecto a las plantas podadas pero no despuntadas. Este comportamiento reflejaría el hecho que la eliminación de yemas apicales desinhibiría la brotación e interrupción del estado de latencia de las yemas accesorias y laterales y este nuevo crecimiento se asociaría con incrementos en la producción de yemas florales en la siguiente temporada por un mayor número de sitios potenciales de fructificación*. La técnica de post-poda de despunte de ramas nuevas (PH) fue la peor estrategia porque que estimuló la interrupción del estado de latencia de las yemas accesorias y laterales que dieron lugar a brotes nuevos de alto y bajo vigor respecto a PC (Fig. 4.1) y la floración de retorno fue nula en todos los tipos de brotes (Fig. 4.2). El tratamiento desinhibió la brotación de los lat-brotes y lat-chupones pero el incremento de ramificaciones no se tradujo en mayor producción de yemas florales. Se esperaba que el crecimiento de ramas laterales cesara debido a que el despunte se realizó cuando los frutos estaban en activo crecimiento. Además, el despunte severo con podadora mecánica en verano (eliminación del 40% del volumen de copa) tiene menor efecto promotor sobre el crecimiento de nuevas ramas que la eliminación del ápice y ultimo nudo sobre la base de lo informado en el Capítulo II (Albarracín *et al.*, 2017). En la misma línea, el tratamiento PH y 75W mostraron un efecto negativo sobre la floración de retorno de los olivos (e.g., Cap. II y III; Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012; Albarracin *et al.*, 2017, 2018). Por lo tanto, los resultados informados **conducen a rechazar la H.3.2**. La práctica de post-poda de despunte es la peor estrategia de control del crecimiento vegetativo en detrimento de la tendencia a florecer de las ramas nuevas.

La **H.3.3** del Objetivo 3 mencionaba que *la aplicación de anti-giberelinas (cloruro de mepiquat, CM) a principios de verano en plantas podadas pero no raleadas ni despuntadas incrementa la producción de yemas de flor en la siguiente primavera. Este comportamiento reflejaría el hecho que la aplicación de CM inhibiría la biosíntesis de AG_s involucrado en el estado de latencia de yemas (i.e. paradormancia y endodormancia) de los brotes en activo crecimiento. Consecuentemente, el crecimiento de esas ramas sería menor pero se incrementaría la floración de retorno y,*

consecuentemente, el rendimiento de la siguiente temporada. La aplicación foliar de 1500 ppm de CM luego de una poda mecánica invernal no mostró una tendencia muy clara en cuanto a los parámetros vegetativos y reproductivos debido a que la dosis empleada fue baja (Fig. 4.1 y 4.2). El experimento de rango de dosis de CM permitió determinar que la dosis de 1500 ppm podría haber sido algo baja, ya que con una dosis de 3000 ppm el número de inflorescencias por brote aumentó de 2 a 10 en los tratamientos PCM y CM3000 (Fig. 4.2 y 4.6). De todas formas, son necesarios nuevos estudios que combinen poda invernal más CM en dosis de 3000 ppm y por varios años consecutivos para confirmar si esta práctica podría ayudar a un mejor manejo de la poda a través de tratamientos post-poda. En relación al crecimiento de ramas vigorosas y no vigorosas, la aplicación foliar de CM a una concentración de 1500 ppm no mostró una respuesta diferencial en el crecimiento de brotes nuevos de bajo vigor o chupones con respecto a PC (Fig. 4.1). Es probable que el efecto no fuera detectado debido a la baja dosis empleada o por el momento de aplicación (Goldschmidt *et al.*, 1998) o porque las plantas no siempre reducen el crecimiento vegetativo en respuesta a la aplicación de anti-giberelinas (Rademacher, 2000). A partir de las evidencias expuestas **se acepta parcialmente la H.3.3.** Si bien la aplicación foliar de 1500 ppm de CM no mostró una tendencia muy clara, los resultados alentadores del experimento de dosis de CM en árboles sin poda permiten valorar el efecto positivo del CM sobre la floración de retorno.

La última **H.3.4** del Objetivo 3 postulaba que *a mayor dosis de CM en árboles de olivo con alta carga de frutos, mayor es la producción de yemas florales en la siguiente primavera respecto al control sin aplicación de CM. Este comportamiento reflejaría el hecho que la aplicación de CM inhibiría la biosíntesis de AG_s, involucrado en el estado de latencia de yemas (i.e. paradormancia y endodormancia), de los frutos y brotes en activo crecimiento y ello favorecería la inducción de las yemas florales luego del reposo invernal e incrementaría la floración de retorno y rendimiento de la siguiente temporada.* El experimento de dosis de CM realizado en árboles sin podar mostró el efecto promotor del CM sobre el crecimiento vegetativo (Fig. 4.5) y no reprimirlo como se esperaba sobre la base de los antecedentes con otros inhibidores de giberelinas (Avidan *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2012; Moreira *et al.*, 2016). Dicho estímulo de crecimiento vegetativo se asoció con un marcado aumento en la floración de retorno para la dosis de 3000 ppm (Fig. 4.6). Adicionalmente, el rendimiento y el número de frutos se duplicaron con dosis de 2000 ppm y 3000 ppm (Fig. 4.7 a y b), y este aumento fue aún mayor cuando el rendimiento se expresó por m³ en base al volumen de copa (Fig. 4.7 c y d). Estos resultados profundizan y validan a los informados por Stino *et al.* (2010) sobre el uso de la anti-giberelinas CM como promotor de la floración de retorno y como herramienta para mitigar alternancia productiva en olivo en la siguiente temporada. A partir de las evidencias expuestas **se acepta la H.3.4.**

Las conclusiones derivadas de los objetivos 2 y 3 y la validación de sus hipótesis hacen mención sobre el importante rol de las giberelinas a pesar de que dicha variable no pudo ser cuantificada. Los niveles endógenos de giberelinas en brotes y yemas en respuesta a la poda y prácticas post poda no pudieron ser evaluados debido una serie de limitaciones metodológicas y de equipamiento.

5.3. Relevancia de los hallazgos de esta investigación para el estado actual del conocimiento y consideraciones acerca de posibles aplicaciones de los mismos.

En la literatura y para olivo, hay muchos informes acerca de las respuestas a la poda mecánica invernal, pero están focalizados en comparar técnicas de poda manual y mecánica (Giametta y Zimbalatti, 1997; Ferguson *et al.*, 2002; Peça *et al.*, 2002; Tombesi *et al.*, 2012) o eficiencias en máquinas podadoras y cosechadoras (Días *et al.*, 2004, 2012; Farinelli *et al.*, 2011) y no en ampliar los conocimientos, en términos cuantitativos y demográficos, acerca de la naturaleza de las respuestas a la poda mecánica. A diferencia de esta tesis, estos trabajos no aportaron información que permita modelar la respuesta de la poda mecánica invernal y de verano con un modelo simple. Adicionalmente, los resultados de los experimentos realizados para esta tesis aportan información demográfica relacionada con la proporción de las categorías de brotes nuevos clasificadas en función del vigor de las mismas, incluyendo también los efectos de la edad de la madera de las BB residuales post poda, algo que hasta el momento se desconocía.

Por otro lado, en esta tesis proponemos funciones de respuesta al área foliar removida (AFR) por poda que, si bien son válidas para las condiciones de mi experimento, representan una primera aproximación a una visión más cuantitativa de las respuestas a la poda mecánica en olivo, aspecto que hasta ahora se desconocía (Cuadro 2.2). A mayor AFR en invierno el crecimiento de ramas nuevas incrementa linealmente. Por el contrario, el rendimiento y el número de frutos se asociaron negativamente al AFR mientras que el peso individual de los frutos y el contenido de aceite variaron en forma positiva por una compensación al número de frutos. Corroborar estas funciones obtenidas utilizando árboles individuales en plantaciones en setos de alta densidad sería el siguiente paso para el modelado de las respuestas a la poda en olivo. Por otro lado, el biplot (Fig. 2.6) confirma que un excesivo crecimiento vegetativo post-poda se relaciona negativamente con el rendimiento y el número de frutos. En la misma línea, la variable número de frutos también se relacionó negativamente con el contenido de aceite por fruto y tamaño del fruto indicando una compensación entre número/tamaño y contenido de aceite tal como muestra el Cuadro 2.1 y Figura 2.5. Todo apunta a conexiones parcialmente entrelazadas entre intensidad de poda, momento de aplicación y estado del árbol (Años *on-off*).

Los datos presentados constituyen los primeros antecedentes para frutales de hoja perenne, encuadrados en una aproximación demográfica, acerca de las respuestas a intensidades crecientes de poda mecánica invernal y de contraste entre podas severas en invierno y en verano. Hasta el momento, no se disponía de información sobre la proporción, el número y la longitud de ramas de bajo vigor y vigorosas según intensidades y momentos de poda mecánica en árboles de hoja caduca y perennes, ni tampoco acerca de los efectos de estos tratamientos sobre el rendimiento por árbol. En la bibliografía se encuentra informes sobre los efectos de la poda manual en frutales de hojas deciduas como manzano (Li *et al.*, 2003 a, b; Li y Lakso, 2004; Stephan *et al.*, 2007; Fumey *et al.*, 2008 y 2011) y duraznero (Gordon y Dejon, 2007; Bussi *et al.*, 2011; Bevacqua *et al.*, 2012). Sin embargo, no podemos comparar directamente estos resultados con los míos debido a que los trabajos mencionados exploraron las respuestas a la poda selectiva manual, por contraste con la poda indiscriminada utilizada en los experimentos efectuados para esta tesis. Además, los trabajos mencionados no estuvieron dirigidos a observar las conexiones entre el efecto vigorizante de la poda y la intensidad y momento de la misma o la edad de madera de las BB remanentes después de la poda.

En el primer análisis demográfico en árboles de olivo, se midió el crecimiento nuevo apical y lateral sobre ramas de 5 años de edad y su posterior tendencia a florecer según la condición previa de carga frutal del árbol, pero no se clasificaron los brotes laterales según su vigor y la edad de madera en la que crecieron (Castillo-Llanque y Rapoport, 2011). Posteriormente Rosati *et al.* (2013) analizaron la arquitectura de setos súper intensivos de olivos, sin realizar poda y concluyeron que el cv. Arbequina se caracteriza por generar un elevado número de brotes laterales por rama. Mis resultados, que fueron obtenidos en árboles jóvenes aislados y en producción, amplían los hallazgos informados por Rosati *et al.* (2013) en setos súper intensivos, los de Cherbiy-Hoffmann *et al.* (2012) en setos intensivos y los de Castillo-Llanque y Rapoport (2011) en árboles adultos aislados desde el punto de vista demográfico y arquitectónico de los olivares en setos. En otras palabras, considero que mis resultados tienen potencial para extrapolarse a otras condiciones de crecimiento, aunque sería recomendable hacer validaciones sobre setos de alta densidad. En la misma línea, mi trabajo constituye el primer informe que documenta el proceso mediante el cual los brotes de bajo vigor, lat-brotes, chupones y lat-chupones cambian al estado reproductivo luego de una poda mecánica. Disponer de dicha información permite conocer el comportamiento reproductivo de las ramas nuevas luego de aplicar poda mecánica y permitirá planificar la práctica de poda, podando uno o dos laterales sabiendo que la transición de ramas vegetativas a reproductivas en los árboles podados, es mayor al tercer año de realizada la poda, moderada en el segundo año y escasa al año siguiente de la poda. Desde un punto de vista agronómico esta información permitirá guiar las acciones dirigidas a controlar el vigor y adaptar los árboles a la cosecha mecanizada reduciendo ramas primarias o estructurales e incrementando las ramas de bajo vigor de diámetros pequeños y por ende los sitios potenciales de fructificación según intensidad y momento de poda mecánica. En términos prácticos mis resultados indican que una poda moderada (50 cm de ancho de copa) a la salida del invierno, realizada un año de alta carga y alternando caras entre diferentes años, parecería una práctica apropiada para un adecuado control del tamaño de los árboles y de la alternancia productiva. Pero en casos en los cuales se requiriera una marcada reducción del tamaño del árbol sería recomendable retrasar la poda hacia el inicio del verano de modo de reducir marcadamente el rebrote post-poda.

Adicionalmente, mis resultados amplían el conocimiento en frutales de hoja perenne en un contexto demográfico con relación a la aplicación de poda mecánica invernal combinada con el raleo de chupones de crecimiento vertical como estrategia de control del crecimiento vegetativo e incremento de la floración de retorno en el año *off*. Como se mencionó anteriormente, el raleo de chupones vigorosos luego de una poda mecánica severa resultó ser la estrategia más conveniente para incrementar el rendimiento y el número de fruto en el año post-poda (Fig. 4.3), aunque sería la práctica menos viable en términos operatorios y de costos en la actualidad. Por contraste, el despunte de brotes nuevos de bajo y alto vigor es la peor estrategia de manejo post-poda debido a que promueve el crecimiento de brotes de bajo vigor y chupones de las yemas laterales sin mejorar la floración de retorno ni el rendimiento en la siguiente temporada.

Por último, esta tesis aporta información sobre el uso de CM en olivo en plantas podadas y no podadas obteniéndose resultados alentadores para las zonas olivícolas del noroeste argentino. En nuestro país los inhibidores de AGs comúnmente empleado en frutales y olivo (e.g., uniconazol, paclobutrazol y prohexadiona-Ca) no están aprobados para su comercialización y uso. Entonces, obtener resultados positivos con un producto permitido por SENASA y escasamente empleado en olivo (Stino *et al.*, 2010) es muy

valioso para nuestra zona olivícola en particular y para otros frutales en general. Se aplicó en un año de alta carga de frutos y observamos que dosis crecientes promovieron el crecimiento vegetativo, es decir, aumentó los sitios potenciales de fructificación, incrementó la floración de retorno y rendimiento en el año "*off*". La aplicación de CM a una dosis más elevada todos los años más poda invernal ligera podría tener un impacto aún mayor sobre floración de retorno post-poda. En el futuro, sería interesante ahondar en diferentes momentos de aplicación y así como también evaluar si una aplicación continua de CM después de la poda mecánica permite modificar la demografía de ramas en favor de ramas no vigorosas (i.e., brotes) que anteriormente se ha demostrado en el Capítulo III que tienen mayor tendencia hacia la floración.

Hasta aquí, los resultados más relevantes de mi tesis también ponen en evidencia la necesidad de investigar más con el fin de mejorar las predicciones de respuesta a la poda mecánica. Los principales interrogantes a resolver son:

- i) ¿El efecto será el mismo si se aplican tratamientos similares de intensidad y momento de poda a un seto adulto y consolidado, en el cuál no hay espacios vacíos entre árboles?;
- ii) ¿La combinación de poda mecánica moderada invernal de un solo lateral + la aplicación de 3000 ppm de CM controlarán el crecimiento de ramas vigorosas y mejorarán la floración de retorno?;
- iii) ¿La combinación de poda mecánica moderada invernal de un solo lateral + riego deficitario controlado en Año "*on*" controlarán el crecimiento de ramas vigorosas y mejorarán la floración de retorno?;
- iv) ¿Qué pasa con los niveles de hormonas presumiblemente importantes frente a variaciones en intensidad y momento de poda y estado *on/off* del árbol?;
- v) ¿Qué pasa con la evolución de SLM y A en hojas nuevas post-poda?

5.4. Conclusiones finales

- La poda invernal altera la respuesta del crecimiento vegetativo y del rendimiento a la alternancia productiva.
- El crecimiento vegetativo aumenta lineal y positivamente con el aumento del área foliar podada ante incrementos de área foliar removida por la poda de invierno. Además, el retraso de la poda severa al comienzo del verano produce un menor crecimiento vegetativo.
- El rendimiento promedio de los 3 años posteriores a la poda no fue modificado por las diferentes intensidades de poda invernal pero el grado de fluctuación interanual sí fue variable entre tratamientos.
- El aumento de la intensidad de poda de invierno se asoció con un mayor crecimiento vegetativo, reflejado principalmente en un aumento en la frecuencia y longitud de ramas vigorosas, que tienen una menor floración de retorno durante las dos primeras floraciones subsiguientes a la poda.
- Tanto el aumento de la intensidad de poda como el aumento de la edad de la madera de la rama base afectan la respuesta del crecimiento de rama nuevas en el olivo.
- Se necesitan al menos tres floraciones de retorno (i.e., cuatro años después de la poda) posteriores a la poda para observar un aumento significativo en la floración de retorno.

- De los tratamientos de post-poda aplicados, el único que mostró cierto potencial como método de promover la producción en el año post-poda fue el raleo de chupones vigorosos, pero su aplicación a campo es complicada.
- La aplicación de CM en dosis de 2000-3000 ppm incrementan la floración de retorno y el rendimiento en la siguiente campaña.

Referencias Bibliográficas

-
- Albarracín V., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2017. Responses of vegetative growth and fruit yield to winter and summer mechanical pruning in olive trees. *Sci. Hortic* 225: 185-194.
- Albarracín V., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2018. Impact of simulated mechanical hedge pruning and wood age on new shoot demography and return flowering in olive trees. *Trees, structure and function*. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1749-1>.
- Alcorn P.J., Bauhus J., Thomas D.S., James R.N., Smith R.G.B., Nicotra A.B. 2008. Photosynthetic response to green crown pruning in young plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *E. cloeziana*. *Forest Ecology and Management*, 255, 3827-3838.
- Allen M.T., Prusinkiewicz P., DeJong T.M. 2005. Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees: the L-PEACH model. *New Phytologist* 166: 869-880.
- Aïachi Mezghani M., Labidi F., Khairi M., Ouled Amor A., Sahli A. 2012. Study of the behaviour of olive cultivars cultivated under different tree-trainings: vegetative and productive characteristics. *Acta Hortic.* 949, 439-446
- Asin L., Alegre S., Montserrat R. 2007. Effect of paclobutrazol, prohexadione-Ca, deficit irrigation, summer pruning and root pruning on shoot growth, yield, and return bloom, in a 'Blanquilla' pear orchard. *Scientia Horticulturae* 113: 142-148.
- Arjona C., Santinoni L. 2007. Poda de Árboles Frutales en Árboles frutales. *Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Editorial: Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 244-281.
- Avidan B., Birger R., Abed-El-Hadi F., Salmon O., Hekster O., Friedman Y., Lavee S. 2011. Adopting vigorous olive cultivars to high density hedgerow cultivation by soil applications of uniconazol, a gibberellin synthesis inhibitor. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9, 821-830.
- Aybar V.E., De Melo-Abreu J.P., Searles P.S., Matias A.C., Del Rio C., Caballero J.M., Rousseaux M.C. 2015. Evaluation of olive flowering at low latitude sites in Argentina using a chilling requirement model. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13, 09-001.
- Ayerza R., Sibbett G.S. 2001. Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84: 277-285.
- Balandier P., Lacoïnte A., Le Roux X., Sinoquet H., Cruiziat P., Le Dizès S. 2000. SIMWAL: A structural-functional model simulating single walnut tree growth in response to climate and pruning. *Ann. For. Sci.* 57, 571-585.
- Bangerth K.F. 2006. Flower induction in perennial fruit trees: still an enigma? *Acta Hortic.* 727, 177-195.
- Bangerth K.F. 2009. Floral induction in mature, perennial angiosperm fruit trees: Similarities and discrepancies with annual/biennial plants and the involvement of plant hormones. *Sci. Hortic.* 122, 153-163.
- Beltrán G., Uceda M., Hermoso M., Frías L. 2004. Maduración, in: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.), *El Cultivo del Olivo*. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 163-188.
- Bevacqua D., Genard M., Lescourret F. 2012 A simple model to predict the probability of a peach (*Prunus persicae*) tree bud to develop as a long or short shoot as a consequence of winter pruning intensity and previous year growth. *PloS One* 7: 1-6.
- Bussi C., Bruchou C., Lescourret F. 2011. Response of watersprout growth to fruit load and intensity of dormant pruning in peach tree. *Sci. Hortic.* 130, 725-731.
- Bussi C., Genard M., Horticoles S., Avignon F. 2014. Thinning and pruning to overcome alternate bearing in peach trees. *Eur. J. Hortic. Sci.* 79: 313-317.
- Camposeo S., Godini A. 2010. Comportamiento de 13 variedades de olivo en sistema Súper-intensivo: Resultados del primer trienio. *Olint: Revista de plantaciones súper-intensivas de olivo* 18: 10-17.

- Casper J.A., Taylor B.H. 1989. Growth and development of young Loring peach trees after foliar sprays of paclobutrazol and GA₃. *Hortscience*, 24, 240-242.
- Castillo-Llanque F.J., Rapoport H.F. 2011. Relationship between reproductive behavior and new shoot development in 5-year-old branches of olive trees (*Olea europaea* L.). *Trees* 25: 823-832.
- Chalmers D.J., Mitchell P.D., Van Heek L. 1981. Control of Peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 106: 307-312.
- Cherbiy-Hoffmann S.U., Searles P.S., Hall A.J., Rousseaux M.C. 2012. Influence of light environment on yield determinants and components in large olive hedgerows following mechanical pruning in the subtropics of the southern hemisphere. *Sci. Hortic.* 137, 36-42.
- Cherbiy-Hoffmann S.U., Hall A.J., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2015. Responses of olive tree yield determinants and components to shading during potentially critical phenological phases. *Sci. Hortic.* 184, 70-77.
- Civantos L. 1996. Técnicas de producción. En *Enciclopedia Mundial del olivo* (eds. Consejo Oleícola Internacional) 145-194 (Madrid, España, 1996).
- Connor D.J., Fereres E. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Hortic. Rev.* 31, 155-229.
- Connor D. J., Centeno A., Gómez-del-Campo M. 2009. Yield determination in olive hedgerow orchards. II. Analysis of radiation and fruiting profiles. *Crop and Pasture Science*, 60, 443-452.
- Connor D.J., Gómez-del-Campo M., Rousseaux M.C., Searles P.S. 2014. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: A review. *Sci. Hortic.* 169, 71-93.
- Correa-Tedesco G., Rousseaux M.C., Searles P. 2010. Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea*) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management* 7, 1829-1837.
- Corelli Grappadelli L., Lakso A.N., Flore J.A. 1994. Early season patterns of carbohydrate partitioning in exposed and shaded apple branches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:596-603.
- Costes E., Sinoquet H., Kelne J.J., Godin C. 2003. Exploring within-tree architectural development of two apple tree cultivars over 6 years. *Ann. Bot.* 99: 91-104.
- Cothren J.T., Oosterhuis D., 2010. Use of growth regulators in cotton production. In: Stewart J.M., Oosterhuis D.M., Heitholt J.J., Mauney J.R. (eds) *Physiology of Cotton*. Springer, Dordrecht. pp. 289-303.
- Cruz M., Oliveira A.F., Oliveira D.L., Neto J.V. 2011. Flowering and vegetative growth of olive tree submitted to pruning and paclobutrazol application. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 23, 105-111.
- Dag A., Bustan A., Avni A., Tzipori I., Lavee S., Riov J. 2010. Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europaea* L.). *Sci. Hortic.* 123, 469-472.
- Dalkılıç G.G., Dalkılıç Z., Mestav H.O. 2014. Effect of different pruning severity on vegetative growth in peach (*Prunus persica*). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri* 7: 1505-1508.
- Davenport T.L. 1990. Citrus flowering. *Horti. Reviews.* 12:349-408.
- Day K.R., Dejong T.M., Hewitt A.A. 1989. Postharvest summer pruning of "Firebrite" nectarine trees. *HortScience* 24:238-240.
- De la Rosa R., Leon L., Moreno I., Barranco D., Rallo L. 2008. Ripening time and fruit characteristics of advanced olive selections for oil production. *Australian journal of agricultural research* 59: 46-51.
- Del Río C., Caballero J.M., Garcia-Fernandez M.D. 2005. Vigor, in: Rallo, L., Barranco, D., Caballero, J.M., del Río, C., Martín, A., Tous, J., Trujillo, I. (Eds.), *Varietades de Olivo en España (Libro II. Variabilidad y Selección)*. Junta de Andalucía, MAPA y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- De Melo-Abreu J.P., Barranco D., Cordeiro A.M., Tous J., Rogado B.M., Villalobos F.J. 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agric For Meteorol* 125:117-127

- Dias A.B., Peça J., Pinheiro A., Santos L., Morais N., Pereira A.G. 2004. The influence of mechanical pruning on olive production and shaker efficiency. V International Symposium on Olive Growing 791, 307-313.
- Dias A.B., Peça J.O., Pinheiro A. 2012. Long-term evaluation of the influence of mechanical pruning on olive growing. *Agron. J.* 104, 22-25.
- Díaz-Espejo A., Nicolas E., Fernandez J.E. 2007. Seasonal evolution of diffusional limitations and photosynthetic capacity in olive under drought. *Plant, Cell and Environment*, 30, 922–933.
- Díez C.M., Moral J., Cabello D., Morello P., Rallo L., Barranco D. 2016. Cultivar and tree density as key factors in the long-term performance of super high-density olive orchards. *Front Plant Sci* 7:1226. DOI: 10.3339/fpls.2016.01226.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eissenstat D.M., Duncan L.W. 1992. Root growth and carbohydrate responses in bearing citrus trees following partial canopy removal. *Tree Physiology* 10:245-257.
- Elliott R.C., Ross J.J., Smith J.J., Lester D.R., Reid J.B. 2001. Feed-forward regulation of gibberellin deactivation in pea. *J. Plant Growth Regul* 20: 87–94.
- FAOSTAT. www.fao.org/faostat/es/.
- Farinelli D., Onorati L., Ruffolo M., Tombesi A. 2011. Mechanical pruning of adult olive trees and influence on yield and on efficiency of mechanical harvesting. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): Olive Trends Symposium- 203-209.
- Fereres E., Castel J.R. 1981. Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California Publication Leaflet 21259.
- Ferguson L., Krueger W.H., Reyes H., Metheney P. 2002. Effect of mechanical pruning on (*Olea europaea* L.) California black ripe cv. ‘Manzanillo’ table olive. *Acta Hort.* 586, 281-284.
- Fernández-Escobar R., Benlloch M., Navarro C., Martín G.C. 1992. The time of floral induction in the olive. *J Am Soc Hortic Sci* 117: 304-307.
- Fernández J.E., Díaz-Espejo A., D’Andria R., Sebastiani L., Tognetti R. 2008. Potential and limitations of improving olive orchard design and management through modelling. *Plant Biosyst.* 142, 130–137.
- Fernández F.J., Ladux J.L., Searles P.S. 2015. Dynamics of shoot and fruit growth following fruit thinning in olive trees: Same season and subsequent season responses. *Sci. Hortic.* 192, 320-330.
- Fiorino P., Marone E. 2010. The fate of lateral buds in the olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea* var. *europaea*). A first report. *Adv Hortic Sci* 24:29-34.
- Fontanazza G., Bartolozzi F., Vergati G. 1998. Olive ‘Fs-17’. *Riv. Ortoflorofrutt.* It.60, 7-8.
- Forshey C.G., Elfving D.C. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hortic. Rev.* 11, 229-287.
- Friend A.P., Trought M.C.T. 2007. Delayed winter spur-pruning in New Zealand can alter yield components of Merlot grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.* 13, 157–164.
- Fumey D., Lauri P. E., Guédon Y., Godin C., Costes E. 2008. Effects of pruning on the apple tree: from tree architecture to modeling. IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems. 903, 597-602.
- Fumey D., Lauri P.É., Guédon Y., Godin C., Costes E. 2011. How young trees cope with removal of whole or parts of shoots: An analysis of local and distant responses to pruning in 1-year-old apple (*Malus* × *domestica*; Rosaceae) trees. *Am J Bot* 98: 1737-1751.
- García-Inza G.P., Castro D.N., Hall A.J., Rousseaux M.C. 2014. Responses to temperature of fruit dry weight, oil concentration, and oil fatty acid composition in olive (*Olea europaea* L. var. ‘Arauco’). *European Journal of Agronomy*, 54, 107-115.
- García-Inza G.P., Castro D.N., Hall A.J., Rousseaux M.C. 2016. Opposite oleic acid responses to temperature in oils from the seed and mesocarp of the olive fruit. *European Journal of Agronomy*, 76, 138-147.

- Gatti M., Pirez F.J., Chiari G., Tombesi S., Palliotti A., Merli M.C., Poni S. 2016. Phenology, canopy aging and seasonal carbon balance as related to delayed winter pruning of *Vitis vinifera* L. cv. Sangiovese grapevines. *Frontiers in plant science*, 7, 659.
- Génard M., Pagès L., Kervella J. 1998. A carbon balance model of peach tree growth and development for studying the pruning response. *Tree Physiol.* 18, 351–362.
- Génard M., Dauzat J., Franck N., Lescourret F., Moitrier N., Vaast P., Vercambre G. 2008. Carbon allocation in fruit trees: from theory to modelling. *Trees* 22, 269–292.
- Giametta G, Zimbalatti G. 1997. Mechanical pruning in new olive-groves. *J. Agric. Eng. Res.* 68, 15-20.
- Godini A., Vivaldi G.A., Camposeo S. 2011. Olive cultivars field-tested in super-high-density system in southern Italy. *Calif. Agric.* 65, 39–40.
- Goldschmidt E.E., Tamim M., Goren R. 1998. Gibberellins and flowering in citrus and other fruit trees. *Acta Hortic.* 1, 201-216.
- Gómez del Campo M., Morales Sillero A.M., Vita Serman F., Rousseaux M.C., Searles P.S. 2010. El Olivar de los Valles áridos del Noroeste de Argentina (provincia de Catamarca, La Rioja y San Juan). *Olivae: revista oficial del Consejo Oleícola Internacional*, 114, 23-45.
- Gordon D., Dejong T.M. 2007. Current-year and subsequent-year effects of crop-load manipulation and epicormic-shoot removal on distribution of long, short and epicormic shoot growth in *Prunus persica*. *Annals of botany*, 99, 323-332.
- Gregoriou K., Pontikis K., Vemmos S. 2007. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 45, 172–181.
- Greene D.W. 1991. Reduced Rates and Multiple Sprays of Paclobutrazol Control Growth and Improve Fruit Quality of Delicious Apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116, 807-812.
- Gu S., Evers J.B., Zhang L., Mao L., Zhang S., Zhao X., Liu S., van der Werf W, Li Z. 2014. Modelling the structural response of cotton plants to mepiquat chloride and population density. *Ann Bot* 114, 877–887.
- Gucci R., Cantini C. 2000. Pruning and Training Systems for Modern Olive Growing. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Haberman A., Ackerman M., Crane O., Kelner J.J., Costes E., Samach A. 2016. Different flowering response to various fruit loads in apple cultivars correlates with degree of transcript reaccumulation of a TFL1-encoding gene. *Plant J* 87:161–173
- Haberman A., Bakhshian O., Cerezo-Medina S., Paltiel J., Adler C., Ben-Ari G., Mercado J. 2017. A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. *Plant Cell Environ* 7:1-18.
- Hackett W.P., Hartmann H.T. 1964. Inflorescence formation in olive as influenced by low temperature, photoperiod, and leaf area. *Bot. Gaz.* 125: 65–72.
- International Olive Oil Council (IOC). 2000. World Catalogue of Olive Varieties. Madrid, Spain.
- Jackson J.E., Palmer J.W. 1977a. Effects of shading on the growth and cropping of apple trees. II. Effects of components of yield. *J. Hortic. Sci.* 52, 253–266.
- Jackson J.E., Palmer J.W. 1977b. Effects of shading on the growth and cropping of apple trees. III. Effects on fruit growth, chemical composition and quality at harvest and after storage. *J. Hortic. Sci.* 52, 267–282.
- Kawarada A., Sumiki, Y. 1959. The occurrence of gibberellin a1 in watersprouts of citrus. *Bull. Agr. Chem. Soc. Japan*, 23, 343-344.
- Kenkel N.C., Derksen D.A., Thomas A.G., Watson P.R. 2002. Review: Multivariate analysis in weed science research. *Weed Sci.* 50, 281-292.
- Kumar M., Rawat V., Rawat J.M.S., Tomar Y.K. 2010. Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 218–221.
- Larbi A., Ayadi M., Ben Dhiab A., Msallem M., Caballero J.M. 2011. Olive cultivars suitable for high-density orchards. *Span. J. Agric. Res.* 9, 1279–1286.
- Larbi A., Ayadi M., Ben Dhiab A., Msallem M., Caballero J.M. 2012. Planting density affects vigour and production of “Arbequina” olive. *Spanish J. Agric. Res.* 10,1081.

- Larbi A., Vázquez S., El-Jendoubi H., Msallem M., Abadía J., Abadía A., Morales F. 2015. Canopy light heterogeneity drives leaf anatomical, eco-physiological, and photosynthetic changes in olive trees grown in a high-density plantation. *Photosynth. Res.* 123, 141–155.
- Lauri P.E., Terouanne E., Lespinasse J.M. 1996. Quantitative analysis of relationships between inflorescence size, bearing-axis size and fruit-set--An apple tree case study. *Ann. Bot.* 77: 277–286.
- Lavee S., Haskal A. 1993. Partial fruiting regulation of olive trees (*Olea europaea* L.) with paclobutrazol and gibberellic acid in the orchard. *HortScience* 71, 83–86.
- Lavee S. 2007. Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). *Ann. Ser. His. Nat.* 17, 101–112.
- Li K.T., Lakso A.N., Piccioni R., Robinson T. 2003a. Summer pruning reduces whole-canopy carbon fixation and transpiration in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 78, 749–754.
- Li K.T., Lakso A.N., Piccioni R., Robinson T. 2003b. Summer pruning effects on fruit size, fruit quality, return bloom and fine root survival in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 78, 755–761.
- Li K.T., Lakso A.N. 2004. Photosynthetic characteristics of apple spur leaves after summer pruning to improve exposure to light. *HortSci* 39: 969–972.
- Lodolini E.M., Endeshaw T.S., Gangatharan R., Neri D., Santinelli A. 2011. Olive fruit set in central Italy in response to different pruning systems. *Acta Hortic.* 924, 195–201.
- López-Bernal A., Villalobos F.J., García-Tejera O., Testi L., Orgaz F. 2017. Do olive vegetative buds undergo a real dormant state in winter? *Acta Hortic.* 1160, 227–230.
- López G., Arbones A., Del Campo J., Mata M., Vallverdu X., Girona J., Marsal J. 2008. Response of peach trees to regulated deficit irrigation during stage II of fruit development and summer pruning. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6, 479–491.
- Luna V., Lorenzo E., Reinoso H., Tordable M.C., Abdala G., Pharis R.P., Bottini R. 1990. Dormancy in peach (*Prunus persica* L.) flower buds I. Floral Morphogenesis and endogenous gibberellins at the end of dormancy period. *Plant Physiology* 93:20–25.
- Marini R.P. 1986. Defoliation, flower bud cold hardiness, and bloom date of peach as influenced by pruning treatments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111, 391–394.
- Marini R., Corelli-Grappadelli L. 2006. Peach Orchard Systems, *Horticultural Reviews*, 32, 63–109.
- Mariscal M.J., Orgaz F., Villalobos F.J. 2000a. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agric. Forest Meteorol.* 100, 183–197.
- Mariscal M.J., Orgaz F., Villalobos F.J. 2000b. Radiation-use efficiency and drymatter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. *Tree Physiol.* 20: 65–72.
- Medhurst J.L., Pinkard E.A., Beadle C.L., Worledge D. 2006. Photosynthetic capacity increases in *Acacia melanoxylon* following form pruning in a two-species plantation. *For. Ecol. Manage.* 233, 250–259.
- Médiène S., Jordan S.O., Pagès L., Le Bot J., Adamowicz S. 2002. The influence of severe shoot pruning on growth, carbon and nitrogen status in young peach trees (*Prunus persica*). *Tree Physiology* 22, 1289–1296.
- Meilan R. 1997. Floral induction in woody angiosperms. *New Forests* 14: 179–202.
- Mena F., Gardiazabal F., Magdahl C., Whiley A.W., Cantuarias T., Wilhelmy C., González F. 2003. Efecto del uniconazol-p (sunny®) sobre el crecimiento y productividad de paltos cv. hass en Chile. In *Proceedings V World Avocado Congress*. 267–272.
- Mika A. 1986. Physiological responses of fruit trees to pruning. *Hortic. Rev.* 8, 337–378.
- Miller S.S. 1982. Regrowth, flowering and fruit quality of “delicious” apple trees as influenced by summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 107: 975–978.
- Mohammadi A., Mahmoudi M.J., Rezaee R. 2013. Vegetative and reproductive responses of some apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.) to heading back pruning. *Int. J. AgriSci.* 3: 628–635.
- Monselise S., Goldschmidt E. 1982. Alternate bearing in fruit trees. *Hortic. Rev.* 4, 128–173.

- Moreira R.A., Fernandes D.R., Monteiro da Cruz M.D.C., Lima J.E., De Oliveira A.F. 2016. Water restriction, girdling and paclobutrazol on flowering and production of olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 200, 197-204.
- Morettini A. 1972. *Olivicoltura*, second ed., REDA. Roma, Italy.
- Morris J.R., Cawthon D.L. 1981. Yield and quality response of concord grapes (*Vitis labrusca* L.) to mechanized vine pruning. *Am. J. Enol. Vitic.* 32: 280-282.
- Mutasa-Göttgens E., Hedden P. 2009. Gibberellin as a factor in floral regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 60, 1979-1989.
- Navarro C., Fernández-Escobar R., Benlloch M. 1989. Flower bud induction in 'manzanillo' olive. *International Symposium on Olive Growing. ISHS Acta Horticulturae* 286: 195-198.
- Niinemets U. 2007. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies. *Plant, Cell & Environment*, 30, 1052-1071.
- Normand F., Bello A.K.P., Trottier C., Lauri P.É. 2009. Is axis position within tree architecture a determinant of axis morphology, branching, flowering and fruiting? An essay in mango. *Ann. Bot.* 103: 1325-1336.
- Oosterheld M., 1992. Effect of defoliation intensity on aboveground and belowground relative growth rates. *Oecologia*, 92: 313-316.
- Pastor M., Humanes J. 2006. *Poda del olivo: moderna olivicultura*. (Editorial Agrícola Española S.A.: Madrid, España).
- Pastor M., Garcia-Vila M., Soriano M.A., Vega V., Fereres E. 2007. Productivity of olive orchards in response to tree density. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 82: 555-562.
- Peça J.O., Dias A.B., Pinheiro A.C., Santos L., Morais N., Pereira A., Reynolds de Souza D. 2002. Mechanical pruning of olive trees as an alternative to manual pruning. *Acta Hortic.* 586, 295-299.
- Pinkard E.A., Beadle C.L., Davidson N.J., Battaglia M. 1998. Photosynthetic responses of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden to green pruning. *Trees* 12, 119-129.
- Pinkard E.A. 2003. Physiological and growth responses related to pattern and severity of green pruning in young *Eucalyptus globulus*. *For. Ecol. Manage.* 182, 231-245.
- Poni S., Bernizzoni F., Presutto P., Rebucci B. 2004. Performance of croatina under short-cane mechanical hedging: A successful case of adaptation. *Am. J. Enol. Vitic.* 55, 379-388.
- Poni S., Tombesi S., Palliotti A., Ughini V., Gatti M. 2016. Mechanical winter pruning of grapevine: Physiological bases and applications. *Sci. Hortic.* 204, 88-98.
- Rademacher W. 2000. Growth retardants: Effects on Gibberellin. *Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:501-531.
- Rademacher W. 2016. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual plant reviews*, 49, 359-404.
- Rai N., Bist L.D. 1992. Effect of soil-and foliar-applied paclobutrazol on vegetative growth, flowering, fruit set and yield of oriental pear (*Pyrus pyrifolia* (Burm.) Nakai). *Sci. Hortic.* 50, 153-158.
- Rallo L., Barranco D., de la Rosa R., León L. 2008. 'Chiquitita' olive. *HortSci.* 43, 529-531.
- Rallo L., Cuevas J., 2008. Fructificación y producción, in: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.), *El cultivo del olivo*. Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 127-158.
- Ramos A., Rapoport H.F., Cabello D., Rallo L. 2018. Chilling accumulation, dormancy release temperature, and the role of leaves in olive reproductive budburst: Evaluation using shoot explants. *Scientia Horticulturae* 23, 241-252.
- Rapoport H.F. 2008. Botánica y Morfología. En *El cultivo del olivo* (eds. Barranco D., Fernández-Escobar R., Rallo L.) 37-62 (Mundiprensa, Madrid, España, 2004).
- Rius X. 2006. Desarrollo de las plantaciones de olivo en Australia. *Fruticultura Profesional: Especial Olivicultura*, 160, 47-50.
- Rius X., Lacarte J.M. 2010. *The Olive Growing Revolution: The Super High Density System*. Comgrafic, Barcelona, pp. 318.

- Rondanini D.P., Castro D.N., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2011. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas y aceites*, 62, 399-409.
- Rondanini D.P., Castro D.N., Searles P.S., Rousseaux M.C. 2014. Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *European journal of agronomy*, 52, 237-246.
- Rosati A., Paoletti A., Caporali S., Perri E. 2013. The role of tree architecture in super high density olive orchards. *Sci. Hortic.* 161, 24–29.
- Rousseaux M.C., Figuerola P.I., Correa-Tedesco G., Searles P.S. 2009. Seasonal variations in sap flow and soil evaporation in an olive (*Olea europaea* L.) grove under two irrigation regimes in an arid region of Argentina. *Agric. Water Manage.* 96, 1037–1044.
- Roussos P.A., Archimandriti A., Beldekou I. 2016. Improving in vitro multiplication of juvenile european chestnut (*Castanea sativa* Mill) explants by the use of growth retardants. *Sci Hortic* 198, 254-256.
- Rubio-Valdés, G., 2009. Crecimiento y latencia de yemas reproductoras de olivo (*Olea europaea* L.) (Growth and dormancy in olive reproductive buds (*Olea europaea* L.)). Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España.
- Rufat J., Villar J.M., Pascual M., Falguera V., Arbonés A. 2014. Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an ‘Arbequina’ olive orchard grown under super-intensive conditions. *Agric. Water Manage.* 144, 33–41.
- Salama A.S.M. 2015. Effect of Girdling, Paclobutrazol and Application Date on Blooming, Fruiting and Fruit Quality of Manzanillo Olive Trees. *European Journal of Academic Essays*, 2, 13-22.
- SAGyP. Secretaria de Agricultura, Ganaderia y Pesca del Ministerio de Agroindustria de la Nación. <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/olivo/>
- Samani R.B. 2014. Effects of Paclobutrazol on Vegetative and Reproductive Characteristics of Peach (*Prunus persica* L.) cv. ‘Kardi’. *Agric. Comm*, 2, 37-42.
- Sanz-Cortés F., Martínez-Calvo J., Badenes M.L., Bleiholder H., Hack H., Llácer G., Meier U. 2002. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Ann. Appl. Biol.* 140, 151–157.
- Saure M.C. 1992. Interference of pruning with endogenous growth control. *Acta Horticulturae* 322, 241-248.
- Schneider D., Goldway M., Adato I., Birger R., Stern R.A. 2009. Foliar application of uniconazole suppresses arbequina olive (*olea europaea* l.) tree growth in high-density orchard. XI International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 884, 671-676.
- Schneider D., Goldway M., Birger R., Stern R.A. 2012. Does alteration of ‘Koroneiki’ olive tree architecture by uniconazole affect productivity? *Scientia Horticulturae*, 139, 79-85.
- Searles P.S., Agüero Alcarás M., Rousseaux M.C. 2011. El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología austral*, 21, 15-28.
- Senasa. Resolución: 934-2010. www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-934-2010-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria.
- Sharma R.R., Singh R. 2006. Pruning intensity modifies canopy microclimate, and influences sex ratio, malformation incidence and development of fruited panicles in “Amrapali” mango (*Mangifera indica* L.). *Sci. Hortic.* 109, 118–122.
- Siham M., Bussi C., Lescourret F., Genard M., Habib R., Gilreath J. 2005. Pruning intensity and fruit load influence on vegetative and fruit growth in “Alexandra” peach. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 118, 266–269.
- Stanley J. 2016 Factors affecting fruit set and fruit quality along branch units of different apricot cultivars. *N Zeal J Crop Hortic* 44:171–191
- Stephan J., Lauri P.E., Dones N., Haddad N., Talhouk S., Sinoquet H. 2007. Architecture of the pruned tree: impact of contrasted pruning procedures over 2 years on shoot demography and spatial distribution of leaf area in apple (*Malus domestica* L.). *Ann. Bot.* 99, 1055–1065.

- Stephan J., Sinoquet H., Dones N., Haddad N., Talhouk S., Lauri P.E. 2008. Light interception and partitioning between shoots in apple cultivars influenced by training. *Tree Physiol.* 28, 331–342.
- Stino G.R., Stino R.G., Elshenawy I.E., Rashad H.M., Hussien I.A., Haleem A.Y. 2010. Effect of manual thinning and mepiquat chloride on enhancing fruiting of two cultivars in the off year. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants* 2: 57-62.
- Stutte G.W., Martin G.C. 1986. Effect of killing the seed on return bloom of olive. *Sci. Hortic.* 29: 107-113
- Thorp T.G., Stowell B. 2001. Pruning height and selective limb removal affect yield of large “Hass” avocado trees. *Hortsci.* 36, 699–702.
- Tiyayon C., Strik B. 2010 Effect of fruiting cane origin on fruitfulness of hardy kiwifruit, *Actinidia arguta*. *New Zeal J Crop Hortic* 31:179–186.
- Tombesi A., Farinelli D., Ruffolo M., Sforza A. 2012. First results of olive mechanical pruning. VI International Symposium on Olive Growing. 949, 409-414.
- Tombesi S., Molfese M., Cipolletti M., Visco T., Farinelli D. 2014. Pruning technique in young high density hedgerow olive orchards. *Acta Hortic* 1057, 385-390.
- Tous J., Romero A., Hermoso J.F., Ninot A. 2011. Mediterranean clonal selections evaluated for modern hedgerow olive oil production in Spain. *Calif. Agric.* 65, 34-38.
- Trentacoste E.R., Puertas C.M., Sadras V.O. 2010. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). *Eur. J. Agron.* 32, 249-254.
- Tung S.A., Huang Y., Hafeez A., Ali S., Khan A., Souliyanonh B., Song X., Yang G. 2018. Mepiquat chloride effects on cotton yield and biomass accumulation under late sowing and high density. *Field Crop Res* 215, 59–65.
- Tworokski T., Miller S., Scorza R. 2006. Relationship of Pruning and Growth Morphology with Hormone Ratios in Shoots of Pillar and Standard Peach Trees. *J Plant Growth Regul* 25:145–155.
- Vázquez-Valdivia V., Pérez-Barraza M.H., Osuna-García J.A., Urías-López M.A. 2009. Intensidad de poda sobre el vigor, producción y peso del fruto, del mango 'Ataulfo'. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 15: 127-132.
- Villalobos F.J., Testi L., Hidalgo J., Pastor M., Orgaz F. 2006. Modelling potencial growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies. *European Journal of Agronomy*, 24: 296-303.
- Vivaldi G.A., Strippoli G., Pascuzzi S., Stellacci A.M., Camposeo S. 2015. Olive genotypes cultivated in an adult high-density orchard respond differently to canopy restraining by mechanical and manual pruning. *Sci. Hortic.* 192, 391-399.
- Yeshitela T., Robbertse P.J., Stassen P.J.C. 2004. Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of ‘Tommy Atkins’ mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32, 281-293.
- Zeng B. 2003. Aboveground biomass partitioning and leaf development of Chinese subtropical trees following pruning. *For. Ecol. Manage.* 173, 135–144.